



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

VARIABILIDAD GENÉTICA EN ALHELÍ (*Matthiola incana* L.) POR MUTAGÉNESIS RADIOINDUCIDA

GENARO PÉREZ JIMÉNEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

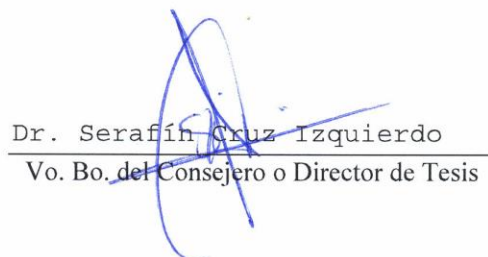
**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Genaro Pérez Jiménez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Serafín Cruz Izquierdo, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Variabilidad genética en alelhi (Matthiola incana L.) por mutagénesis radionducida

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 19 de junio de 2019


Firma del
Alumno (a)


Dr. Serafín Cruz Izquierdo
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Variabilidad genética en alhelí (*Matthiola incana* L.) por mutagénesis radioinducida** realizada por el alumno Genaro Pérez Jiménez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____


DR. SERAFIN CRUZ IZQUIERDO

ASESOR: _____


DR. HECTOR GONZALEZ ROSAS

ASESOR: _____


DR. TARSICIO CORONA TORRES

ASESOR: _____


DR. EULOGIO DE LA CRUZ TORRES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio del 2019

**VARIABILIDAD GENÉTICA EN ALHELÍ (*Matthiola incana* L.) POR
MUTAGÉNESIS RADIOINDUCIDA**

Genaro Pérez Jiménez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

En la cadena de producción de flores de corte, es esencial generar tecnología que mejore la eficiencia y conservación de los recursos genéticos y ecológicos, además de la integración de nuevos recursos que sean aprovechables en diferentes campos de la ciencia. La producción de flor de alhelí se mantiene en un crecimiento constante, siendo el estado de Puebla el que mayor producción genera. La flor de alhelí es una planta introducida, con limitado germoplasma en el país, y los genotipos que se utilizan para la producción presentan morfología silvestre e inestable. Por lo anterior, se buscó como herramienta la mutagénesis por radiación gamma de ^{60}Co como agente inductor de variabilidad y dar comienzo a un esquema de fitomejoramiento asistido por mutagénesis en esta especie. El presente estudio, tuvo como objetivos la descripción morfológica y descripción de las etapas de imbibición en semilla, análisis de la radiosensibilidad en pruebas de germinación, descripción de alteraciones fisiológicas en plántulas, caracterización morfológica en tallos florales de los variantes y evaluación del comportamiento postcosecha de las inflorescencias, después de someter semillas de las selecciones de Nieve, Rosita y Uva con inflorescencias en color blanco, rosa claro y morado respectivamente, las cuales fueron tratadas con seis dosis de radiación gamma. Los resultados exhibieron que los tres genotipos mostraron diferencias en el peso a mil semillas, área, perímetro y color, pero con semejantes de forma orbicular. Respecto al periodo de imbibición se determinaron tres fases que se concluyen en 162 h para los tres genotipos y que la fase II por efecto de expulsión de solutos y la reanudación del consumo de agua, se integra de dos subfases. Semillas de los genotipos mencionados anteriormente fueron tratadas a dosis de 0, 50, 70, 90, 110, 130 y 150 Gy de ^{60}Co y bajo un diseño completamente al azar, se obtuvo que los Nieve y Rosita muestran mayor radiosensibilidad al ^{60}Co , en comparación a Uva. Así mismo que los tres genotipos sufren un efecto de hormesis en la germinación y mejora de la sincronía de emergencia a 50 Gy. En contraste, dosis de 110, 130 y 150 Gy provocan un efecto

negativo al prolongar la emergencia de la semilla, y para el caso específico de Nieve el aumento de la radiación se correlacionó al incremento de plántulas deformes. Para el estudio en plántula se planteó un experimento en campo con diseño en bloques completamente al azar, y el análisis de los datos determinó que los genotipos mostraron diferente respuesta a la radiación, de ello, Rosita mostró mejor inducción de variabilidad seleccionable a 50 Gy (aumenta la LT), 70 Gy (incrementa el NH y AF) y 90 Gy (estimula mayor %G y mejora el V), mientras que Nieve a dosis de 70 Gy (aumenta LT e incrementa el NH), 110 Gy (aumenta LPE e incrementa el AF) y 130 Gy (estimula mayor % G y mejora el GT). Respecto a Uva el efecto fue más constante, debido a que respondió positivamente a 70 Gy (aumenta LPE), 90 Gy (estimula mayor %G) y 110 Gy (genera un aumento en el NH, AF y mejor GT). Dadas las observaciones anteriores, se pudo hacer selección en etapas tempranas. En el estudio de la variabilidad de la diversidad de los variantes de tallos florales de alhelí de Nieve y Uva, el experimento se condujo en un sistema de producción hidropónica en bloques completamente al azar. En la evaluación de datos se observó que mutantes de las selecciones Nieve y Uva generados a dosis de 150 Gy mejoran la longitud de la espiga floral, diámetro y peso en la flor, esto en ambos genotipos. Respecto a la coloración, esta sólo fue alterada en Uva, debido a que se mostraron diferentes tonalidades en blanco, guinda y rosa en todas las plantas variantes, por lo que se sugiere continuar explorando dosis que mejoren atributos que fueron alterados como el número de basales en la planta. El estudio sobre el análisis postcosecha en tallos florales, mostró que variantes de Nieve generados a 50 y 110 Gy y en Uva a 50 y 70 Gy obtuvieron mejor vida de florero por su mínima pérdida de peso y constante consumo de agua. De lo anterior se concluye que la radiación con gammas de ^{60}Co es un mutágeno con alta efectividad para inducir variabilidad seleccionable en los genotipos Nieve, Rosita y Uva.

Palabras clave: semillas, germinación, plántulas, flores, postcosecha.

VARIABILITY GENETIC IN STOCK (*Matthiola incana* L.) FOR MUTAGENESIS RADIOINDUCED

Genaro Pérez Jiménez M.Sc.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

In the cutting flower production chain, it is essential to generate technology that improves the efficiency and conservation of genetic and ecological resources, as well as the integration of new resources that are usable in different fields of science. The production of stock flower is maintained in constant growth, being the state of Puebla, the greatest producer. The stock flower is once introduced plant, with limited germplasm in the country, and the genotypes that are used for the production present wild and unstable morphology. Aiming to widen variability, ^{60}Co gamma rays, were used as inducing agent of variability to start a scheme of plant breeding assisted by mutagenesis in this species. Objectives of the present study were the morphological description and description of the stages of imbibition in seed, analysis of the radiosensitivity in tests of germination, description of physiological alterations in seedlings, morphological characterization in floral stems of the variants and evaluation post-harvest life of inflorescences when seeds of the selections Nieve, Rosita and Uva with inflorescence in white, light pink and purple respectively were treated to six doses of gamma radiation. As results the description of the morphological characteristics of the seeds is presented, it was obtained that the three genotypes showed differences in the weight of thousand seeds, area, perimeter and color, but with similar orbicularis seed form. With regard to the period of impairment was determined that this stage is concluded in 162 h for the three genotypes and that phase II by effect of expulsion of solutes and the resumption of water consumption, is integrated of two subphases. Seeds of the genotypes mentioned above were treated at doses of 0, 50, 70, 90, 110, 130 and 150 Gy of ^{60}Co under a completely random design. It was observed that Nieve and Rosita show greater radiosensitivity to ^{60}Co gamma rays in comparison to Uva. Likewise, the three genotypes exhibited an hormesis effect in germination and improvement of the emergency synchrony to 50 Gy. In contrast, doses of 110, 130 and 150 Gy promoted a negative effect by delaying the emergence of the seed, and for specific case of Nieve the increase of the radiation correlated to the increase of deformed seedlings.

For the study in seedlings at the field an experiment with completely random design in blocks was performed, and the analysis of the data determined that the genotypes Nieve have different response to radiation and that Rosita showed better induction of variability at 50 (increases LT), 70 (increases the NH and AF) and 90 Gy (stimulates greater% G and improves the V), while Nieve at doses of 70 (increases LT and increases the NH), 110 (increases LPE and increases AF) and 130 Gy (stimulates greater% G and improves the GT). Regarding the radiation effect Uva was more constant, because it responded positively to 70 (increases LPE), 90 (stimulates greater% G) and 110 Gy (generates an increase in the NH, AF and best GT). Given the previous statements, it was allowed to make selection in early stages. In the study of the variability of the mutants of floral stems of stock of Nieve and Uva, the experiment was conducted in a completely randomized blocks hydroponic production design in order to obtain homogeneous conditions and it was obtained that, in variants of the selections Nieve and Uva generated at doses of 150 Gy an improvement of the length of the floral spiga, diameter and weight in the flower, was obtained in both genotypes. However, only the coloration was altered in Uva, because different shades were shown in white, cherry and pink in all the variant plants, so it is suggested to continue exploring doses that improve attributes that were not altered as the number of basalts in the plant. The analysis of post-harvest life in floral stems was performed with assessments of water consumption and weight loss. And it was found that the Nieve mutants generated at 50 and 110 Gy and in Uva at 50 and 70 Gy better vase life due to their minimum weight loss and constant water consumption. From the afore mentioned results, it is concluded that the radiation to ^{60}Co is a mutagen with high effectiveness to induce selectable variability in the genotypes Nieve, Rosita and Uva.

Keywords: seed, germination, seedlings, flower, postharvest.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**: porque en cada paso que doy se que estas conmigo y mi familia, gracias porque siempre me has acompañado, y rodeado de gene maravillosa

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el recurso económico que otorgo a mi formación académica en la obtención de este grado.

Deseo agradecer al área del **Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad – Genética** del **Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo**, por ser mi hogar durante estos ya casi dos años y medio, y darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al **Dr. Serafin Cruz Izquierdo** por ser mi tutor dentro de la institución y creer en las ideas de trabajo.

Al **Dr. Tarcisio Corona Torres** por su apoyo incondicional en cada trabajo que requería de sus observaciones y siempre mostrarse atento al seguimiento del trabajo.

Al **Dr. Eulogio de la Cruz Torres** por ser tan amble a cada llamado involucrado al seguimiento del trabajo, y la flexibilidad de colaboración durante estos dos años.

A la **Dra. Yolanda Leticia Fernández Pavía** por apoyarme en cada momento que necesite una amiga, asesora, consejera, así dando gracias por su sinceridad y amabilidad en esta corta estancia.

A mi suegra **Sra. Magdalena Montes** Escobar que en todo momento se mantuvo atenta a mis niñas (Sofía y Ximena).

Durante este tiempo he aprendido muchas cosas buenas tanto de la vida académica como familiar, y en verdad me quedo corto con el agradecimiento que dejo en estas líneas, porque ustedes fueron y seguirán siendo mi familia, agradecido estoy por tanto apoyo, consejos y risas compartidas en esta corta instancia. Ustedes hicieron que me sitiera en casa con su presencia **Dr. Hector González Rosas, Sra. Cristina y Sr. Rene.**

DEDICATORIA

A DIOS POR EL DON DE LA VIDA.

Siempre han estado a mi lado a pesar de las circunstancias, llenándome de buenos consejos que me han hecho llegar hasta aquí, donde les quiero dar las gracias por darme la vida y amarme con su eterno amor de padres.

CLAUDIA JIMÉNEZ ESCOBAR y GENARO PÉREZ SALGADO

A ti abuelita **CARMEN**[†] y abuelita **Paz** que siempre me inculcaron buenos valores, esfuerzo y amor

Me toco verlos nacer y ahora que están creciendo me doy cuenta de como pasa el tiempo. Ustedes me llenan de constante alegría y deseo que esa alegría siga para muchos años más, y como el hermano mayor pongo lo mejor de mi hacia su persona para que ustedes sean mejores a cada momento y consciente estoy de que lo serán **Emmil, Rubi** y **Oliver**. Los amo carnales.

Muy agradecido con DIOS por mandarme tanta luz con su llegada, deseo ser un buen padre para ustedes y poder acompañarlas por siempre en sus aventuras, deseo que nada en esta vida se les complique y si fuera así ahí estaré yo para ustedes, son mi felicidad eterna las amo y este trabajo se los dedico a ustedes mis hijas.

FRIDA SOFIA y ABRIL XIMENA

Gracias por siempre ser mi compañera, amiga y esposa, por mostrarme tu apoyo y comprensión a todo momento, gracias por esas palabras de aliento a ser mejor, por tus consejos y regaños, te amo viejita.

Giovanna Ivette

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA.....	ix
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivos	2
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Centro de origen y distribución	6
Descripción taxonómica y morfológica.....	7
Usos e interés ornamental	9
Estatus de producción y manejo agronómico	11
Patologías que demeritan la producción	14
Genética y desarrollo de flores dobles.....	16
Selección de plántulas simples y dobles	17
Necesidades a la cadena de producción.....	18
Mejoramiento genético por mutagénesis.....	20
Mejoramiento en ornamentales por mutagénesis	21
CAPITULO I. CARACTERES MORFOLÓGICOS E IDENTIFICACIÓN DE SUB-FASES DURANTE LA IMBIBICIÓN DE SEMILLAS DE ALHELÍ (<i>Matthiola incana</i>)	33
RESUMEN	33
ABSTRACT	34
1.1 INTRODUCCIÓN	35
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	36
1.2.1 Determinación de color	37

1.2.2	Peso de mil semillas	37
1.2.3	Procesamiento de imágenes.....	37
1.2.4	Absorción de agua.....	37
1.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
1.3.1	Características morfológicas.....	38
3.4	CONCLUSIONES.....	42
V.	LITARATURA CITADA	43
CAPÍTULO II. RADIOSENCIBILIDAD EN SEMILLAS DE TRES		
GENOTIPO DE ALHELÍ (Matthiola incana L.) SOMETIDAS A		
RADIACIÓN GAMMA DE ⁶⁰ COBALTO.....		
	RESUMEN	48
	ABSTRACT	49
2.1	INTRODUCCIÓN	50
2.2	MATERIALES Y MÉTODOS	52
2.2.4	Análisis estadístico	54
2.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
2.3.1	Efecto de la radiación en el porcentaje de germinación	56
2.3.2	Incidencia de plántulas anormales	58
2.3.3	Germinación al 50% (G ₅₀) en semillas irradiadas	60
2.3.4	Índice de la velocidad de germinación (IVG)	61
2.3.5	Correlación por genotipo	62
2.4	CONCLUSIONES.....	64
2.5	LITERATURA CITADA	64
CAPITULO III. ALTERACIÓN DEL DESARROLLO FISIOLÓGICO DE		
PLÁNTULAS DE ALHELÍ POR RADIACIÓN CON GAMMAS DE ⁶⁰ Co		
	RESUMEN	73
	ABSTRACT	74
3.1	INTRODUCCIÓN	75
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	77
3.2.1	Recurso vegetal.....	77
3.2.2	Manejo del experimento	78

3.2.3 Variables evaluadas y análisis estadístico.....	78
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
3.3.1 Comparación entre genotipos	80
3.3.2 Efecto de la radiación en las variables en estudio	81
3.3.3 Interacción genotipo radiación por material vegetal	84
3.4. CONCLUSIONES.....	89
3.5. LITERATURA CITADA	90
CAPITULO IV. USO DEL ⁶⁰ CO PARA GENERAR VARIABILIDAD	
MORFOLOGICA EN ALHELÍ.....	95
RESUMEN	95
ABSTRACT	96
4.1 INTRODUCCIÓN	97
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	99
4.2.1 Material vegetal y sitio experimental.....	99
4.2.2 Manejo del experimento y variables evaluadas.....	100
4.2.3 Análisis estadístico	101
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	102
4.3.1 Variación en dimensiones morfológicas	103
4.3.2 Efecto de ⁶⁰ Co en morfología de tallos.....	104
4.3.3 Variación morfológica del tallo.....	106
4.3.4 Pigmentación en pétalos.....	110
4.3.5 Características de la raíz.....	112
4.4 CONCLUSIONES.....	114
4.5 LITERATURA CITADA	114
CAPITULO V. DINAMICA DEL CONSUMO DE AGUA Y PÉRDIDA DE	
PESO EN POSTCOSECHA DE VARIANTES DE ALHELÍ	120
RESUMEN	120
ABSTRACT	121
5.1 INTRODUCCIÓN	122
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	123
5.2.1 Material vegetal y conducción del experimento	123

5.2.2 Unidades experimentales, variables y análisis de datos	124
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	125
5.3.1 Análisis de varianza general	125
5.3.2 Dinámica del consumo de agua y pérdida de peso por tallo	126
5.3.3 Consumo de agua	128
5.3.4 Pérdida de peso en tallos florales.....	130
5.4. CONCLUSIÓN	131
5.5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	133
CONCLUSIONES GENERALES	135

LISTA DE CUADROS

LISTA DE CUADROS

No.		Pág.
CAPITULO III		
1	Comparación múltiple de medias en atributos morfológicos de tres genotipos de alhelí.....	39
2	Color, forma, peso de mil semillas y diferencia al peso más grande de semillas de alhelí en ejemplares “Nieve”, “Rosita” y “Uva”.....	40
CAPITULO IV		
1	Análisis de varianza de las variables estudiadas en semillas de tres genotipos de alhelí sometidos a radiación gamma de ^{60}Co	55
2	Comparación múltiple de medias de los días en que cada genotipo alcanza el 50% de germinación (G_{50}).	60
3	Comparación múltiple de medias en la prueba de germinación de tres genotipos de alhelí en el índice de velocidad de germinación (IVG).	61
4	Matriz general de los tres genotipos en los valores obtenidos de la correlación de Pearson, ($p \leq 0.001$), en las variables respuestas estudiadas por el efecto de exposición a radiación gamma de ^{60}Co .	63
CAPITULO V		
1	Cuadrados medios y su significancia estadística del análisis de varianza de genotipo, radiación e interacción genotipo radiación.....	80
2	Comparación múltiple de medias de variables fenotípicas en los genotipos Nieve, Uva y Rosita.....	81
3	Comparación de promedios por Tukey ($p \leq 0.05$) de la radiación gama con $^{60}\text{Cobalto}$ en las variables estudio.....	83

4	Comparación múltiple de medias de los genotipos Rosita, Nieve y Uva en las siete dosis de radiación con ⁶⁰ Cobalto.	85
----------	--	----

CAPITULO VI

1	Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipo, radiación e interacción genotipo* radiación.....	102
2	Comparación de medias entre genotipo para variables morfológicas.....	104
3	Comparación de medias entre dosis de radiación en variables morfológicas de plantas de alhelí.....	105
4	Comparación de medias de variables aéreas de caracteres morfológicos del genotipo Nieve y Uva.....	109
5	Porcentaje de presencia de coloración en tonos color blanco, guinda y rosa en mutantes de alhelí.....	110

CAPITULO VII

1	Cuadrados medios del análisis de varianza en variables postcosecha.....	125
----------	---	-----

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

No.		Pág.
CAPITULO II		
1	Distribución de especies del género <i>Matthiola</i> en países de amplia diversidad genética; ●: Turquía; ●: España; ●: Italia; ●: Iran.....	7
2	Diagrama de estructuras reproductivas de alhelí. A: Flor doble (izquierda superior) y flor simple (derecha superior); B: Vista frontal a los pistilos y estambres; C: Vista lateral.....	9
3	Dinamica de superficie sembrada de alhelí a través de los años en el estado de Puebla y México (Datos obtenidos de SIAP, 2018).....	11
4	Imagen de lado izquierdo muestra sistema de producción convencional, a la derecha cultivo en sistema tecnificado (imagen tomada del sitio web de Flores Musacco (2018)).....	12
5	Contraste entre sistemas de producción, rectángulo de fondo azul representa el factor de contraste, rectángulo con borde color naranja situación convencional, rectángulo de borde café manejo en producción tecnificada.....	13
6	Diagrama de herencia en flores sencillas y dobles de alhelí (Tomado de Frost, 1915, modificación propia).....	17
7	Dinámica de registro a través de los años en la MVD (Mutant Variety Database) (Elaboración propia con datos de FAO (2018)).....	22
8	Agentes mutagénicos de uso en la generación de mutantes en la MVD (Mutant Variety Database) (Elaboración propia con datos de FAO (2018)).....	23

CAPITULO III.

1	Dinámica de absorción de agua y división de la fase I, II y III en los genotipos CM, CB y CR y propuesta de integración de dos subfases en fase II.	43
---	---	----

CAPITULO IV.

1	Comparación múltiple de medias (Tukey ($P \leq 0.05$)) del efecto de la radiación sobre el porcentaje de germinación de los genotipos Nieve, Rosita y Uva.....	57
2	Comparación múltiple de medias (Tukey ($P \leq 0.05$)) que el efecto de radiación provoca en la incidencia de plántulas anormales (PA).....	59

CAPITULO VI.

1	Esquema gradual de cambios morfológicos en la inflorescencia, alteración de flores por dosis y representación porcentual del grado de dominancia expresado en pétalos.....	111
2	Graficas de la comparación de medias (Tukey, 0.05) de Nieve y Uva de las variables correspondientes a longitud (A), peso (B) y volumen de raíz (C).....	114

CAPITULO VII

1	Respuesta de genotipos al consumo de agua y pérdida de peso en vida postcosecha de alhelí. *DMS: diferencia mínima significativa por variable estudio.....	126
2	Efecto del consumo de agua y pérdida de peso en seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa por variable estudio.....	128
3	Consumo de agua de mutantes de Nieve y Uva generados por exposición a seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa.....	129
4	Pérdida de peso de mutantes de Nieve y Uva generados por exposición a seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa.....	131
5	Estado postcosecha de variantes de alhelí generados a partir de Nieve y Uva con dosis de ^{60}Co de 50,70,90,110,130 y 150 Gy más el testigo.	132

INTRODUCCIÓN GENERAL

La horticultura ornamental en México representa una actividad de importancia agrícola en aumento, por la rentabilidad de los productos y con ello la creación de empleos que se generan en cada uno de sus procesos. Sin embargo, la poca información disponible y nula generación de tecnología en el cultivo mantienen estacionada la posibilidad de duplicar la expansión del cultivo. La dependencia constante de insumos y, el nulo desarrollo de tecnologías nos han estancado en la competencia internacional a pesar de ser un país de alto potencial de producción. Se estima que el 90 % del material genético es importado y, las posibilidades de adquirir material de vanguardia son limitadas, a precios elevados.

Actualmente, el mercado de flores de corte posiciona a la producción de rosa (*Rosa spp.*), crisantemos (*Dendratema grandiflorum*), clavel (*Dianthus annus*), tulipán (*Tulipa spp.*), gladiola (*Gladiolus hybrid*) como las de mayor importancia internacional (Schum, 2003a). Sin embargo, existe la necesidad de seguir diversificando el mercado con la oferta y promoción de nuevas especies o re-introducción de algunas ya olvidadas.

El alhelí (*Matthiola incana* L.) se ha mantenido en el mercado, antes con producción solo en los meses de octubre, noviembre y diciembre, pero actualmente su demanda se ha extendido durante todo el año. La diversidad de esta especie es limitada por lo que solo se encuentran flores de color rosa, morado, blanco y en menor volumen de color rojo. Como flor de corte representa un recurso potencial en espera de su re-descubrimiento. Por lo tanto, existe la necesidad de generar tecnologías y procedimientos que potencialicen el sistema de producción y dilucidar los mecanismos biológicos y genéticos que permitan el impulso y desarrollo en esta especie, como la formación de híbridos en programas de mejoramiento genético o selección de mutantes, después de inducir variabilidad genética.

La incorporación de la biotecnología en el mejoramiento clásico ha acrecentado y acelerado la obtención de nuevos cultivares en diversas especies. En específico, la mutagénesis como inductor de variabilidad aumenta la frecuencia de mutaciones en organismos sometidos a esta técnica, incrementando la riqueza genética de cada especie.

El planteamiento del presente trabajo se basa en la inducción y caracterización de la variabilidad genética generada por la irradiación de semillas de alheli con gammas de $^{60}\text{Cobalto}$ (^{60}Co), estudiando la respuesta a la radiación en variables como germinación, vigor en plántula, desarrollo de la producción para flor de corte y postcosecha de los genotipos evaluados.

Objetivos

General:

- Inducción de variabilidad con la exposición de semillas con $^{60}\text{Cobalto}$ induce variabilidad cuantitativa y cualitativa en los genotipos tratados de alhelí (*M. incana*).

Específicos:

- Caracterizar la morfología física y el proceso de imbibición en semillas de tres genotipos de alheli.
- Estudiar la radiosensibilidad por exposición a gammas de $^{60}\text{Cobalto}$ en pruebas de germinación de los tres genotipos expuestos al mutágeno.

- Estudiar la variabilidad fisiológica inducida en plántulas de alhelí por la exposición a gammas de $^{60}\text{Cobalto}$.
- Caracterizar la variabilidad morfológica en flores dobles de alhelí para flor de corte y obtener las dosis que mejor estimulen los caracteres morfológicos.
- Determinar el óptimo comportamiento postcosecha, a partir de las variantes, consumo de agua y pérdida de peso en las selecciones de Nieve y Uva.

Hipótesis

General:

- El tratamiento de semillas de tres genotipos de alhelí (*M. incana*) con gammas de $^{60}\text{Cobalto}$ no genera variabilidad cualitativa ni cuantitativa en sus etapas de germinación, desarrollo de plántula y postcosecha.

Específicas:

- No hay variabilidad en características físicas de semilla y comportamiento de imbibición entre genotipos.
- La irradiación en todos los tratamientos no estimula la germinación de los genotipos.
- El comportamiento fisiológico de las plántulas no es alterado por la radiación gamma.

- La variabilidad morfológica de tallos florales es semejante entre dosis y genotipos.
- El consumo de agua y pérdida de peso no es diferente entre variantes.

REVISIÓN DE LITERATURA

En México se tiene una amplia diversidad en ecosistemas (Davidse *et al.*, 2015), mismos que albergan el 10 % de flora conocida en el mundo (Fernández y Trejo, 2018). El aprovechamiento de esta flora ha sido con fines medicinales, frutales, sociales, ecológicos y con grado alimenticio como el principal uso (van Tuyl *et al.*, 2008). Pero también se han cultivado plantas por el interés ornamental, rol que radica en el arraigo a la cultura del hombre en tradición, costumbres y festejos siendo consideradas emblemas para algunas naciones (Leszczyńska-Borys y Borys, 2008, van Tuyl *et al.*, 2008).

Hoy en día, la floricultura es una industria internacional (Ramírez y Chávez, 2014), que ha logrado posicionar naciones (e.g. Holanda, Colombia) en las economías más importantes del mundo (van Tuyl, 2012a). Si bien es cierto, esta actividad mantiene un mercado dinámico que exige la permanente innovación de tecnologías que mejoren los esquemas de producción a bajos costos económicos y ambientales (Ramírez y Chávez, 2014).

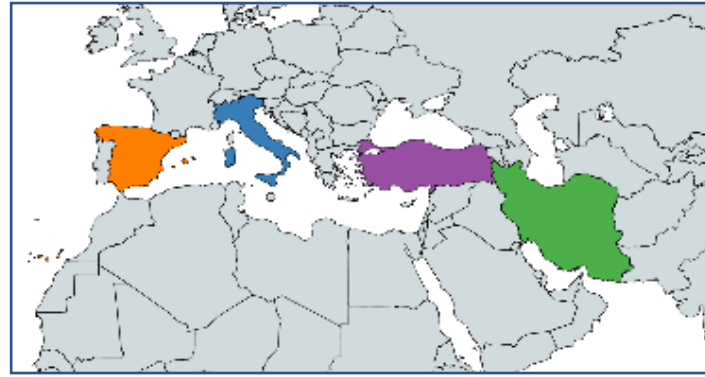
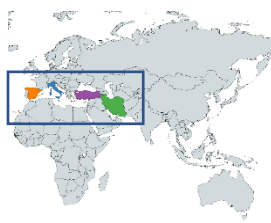
Son pocas las flores en producción que ofrecen múltiples alternativas de consumo. En la actualidad se busca de aquellas especies que ofrezcan versatilidad de uso. En la familia de las crucíferas se encuentra *Matthiola incana* mejor conocida como flor de alhelí, que posee un amplio potencial en múltiples ámbitos (e.g. medicina, agronomía, cosmetología).

Con el afán de impulsar el potencial de ésta especie, es necesario del apoyo científico con líneas de investigación que atiendan las problemáticas de producción, fitosanidad (basados en el manejo integral), mejoramiento genético y canales de comercialización.

Es por ello, que el presente capítulo se muestra el estatus actual en que se desarrolla, su aprovechamiento como flor de corte y se muestra un panorama sobre las tendencias futuras al mejoramiento genético de alhelí.

Centro de origen y distribución

El género *Matthiola* recibe el nombre en honor a **Peter Andrew Matthioli** (1500 - 1577), ilustre botánico y fisiólogo italiano, quien dio la primera referencia respecto a la especie (Bailey, 1946). Se considera un género euroasiático por su distribución en Europa, Asia, Africa (cuencas del mediterráneo) y el Atlántico (Islas Canarias) (Sánchez *et al.*, 2005) (Figura 1). En territorio mesoamericano sólo se distribuyen las especies *incana* y *fruticolosa* (Davidse *et al.*, 2015), de las que se infiere, fueron introducidas a la llegada de los españoles en 1492 (Rzedowski, 2005, Leszczynska-Borys y Borys, 2008).



trojana, odoratissima, anchoniifolia, montana, ovatifolia, incana, sinuata, tricuspidata, longipetala spp. bicoloris, longipetala spp. longipetala, longipetala spp. pumilo
 (Referencias: Dirmenci *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2013; Martin *et al.*, 2016).



bolleana, tricuspidata, incana spp. incana, fruticulosa spp. fruticulosa, fruticulosa spp. valessiana, fruticulosa spp. perennis, incana ssp pulchella, incana spp. rupestris
 (Referencias: Doreste *et al.*, 2006).



itálica, coronopifolia, glabrata, undulata, glandulosa, sinuata, incana, tristis spp. itálica, longipetala spp. oxicerias, tricuspidata spp. pseudoxyceras, fruticulosa spp. valesiaca (Referencia: Flora-italiana, 2018).



afganica, alyssifolia, muticaulis, sinaica
 (Referencias: Khosravi y Maassoumi, 1998).

Figura 1. Distribución de especies del género *Matthiola* en países de amplia diversidad genética; ●: Turquía; ●: España; ●: Italia; ●: Iran.

Descripción taxonómica y morfológica

Taxonomicamente, se ubica en la tribu de las Anthonieae (Hisamatsu *et al.*, 2002) en la familia de las brasicaceas (Martin *et al.*, 2016). Se conocen mas de 50 especies del género *Matthiola* (Doreste *et al.*, 2006), y como flor de corte solo *incana*.

Se mantiene cierta incertidumbre por la comunidad botánica respecto al número de subespecies reportadas. La base de datos **IPNI** (*The International Plant Name Index*) reconoce como sub especies a *cyrenaica*, *pulchella* y *melitensis* (IPNI, 2018). Sin embargo, referencias de **BrassiBase** desconocen a *cyrenaica* y *pulchella* por el argumento de no reunir las características necesarias para ser incluidas. La misma base reconoce las subespecies: *incana*, *melitensis* y *rupestris* (Brassibase, 2018). Del argumento anterior, se infiere que *Matthiola incana* se integra de las subespecies *incana*, *melitensis* y *rupestris*.

La morfología de *M. incana* la describe como una planta herbácea bienal, en ocasiones de comportamiento arbustivo (Davidse *et al.*, 2015). Altura entre los 15 a 75 cm, con intenso braceo lateral para florecer (Lim, 2014). Como parte de las dicotiledóneas posee un sistema radicular ramificado que conecta con el tallo firme central de entrenudos cortos que finalizan en inflorescencia; las hojas son simples de limbo ovado y de margen hendido (Bailey, 1946).

Las flores pertenecen a dos morfologías distintas, en dobles y simples (Irani y Arab, 2017). Las simples se identifican por ser hermafroditas y con androceo de seis anteras (cuatro superiores y dos inferiores), el gineceo lo integra un pistilo con ovario súpero. La corola se forma de cuatro a seis pétalos insertos en un cáliz de cuatro sepalos en flores simples y de una densa corola en aquellas de flor doble con la particularidad de no mostrar estambres ni pistilo (Figura 2).

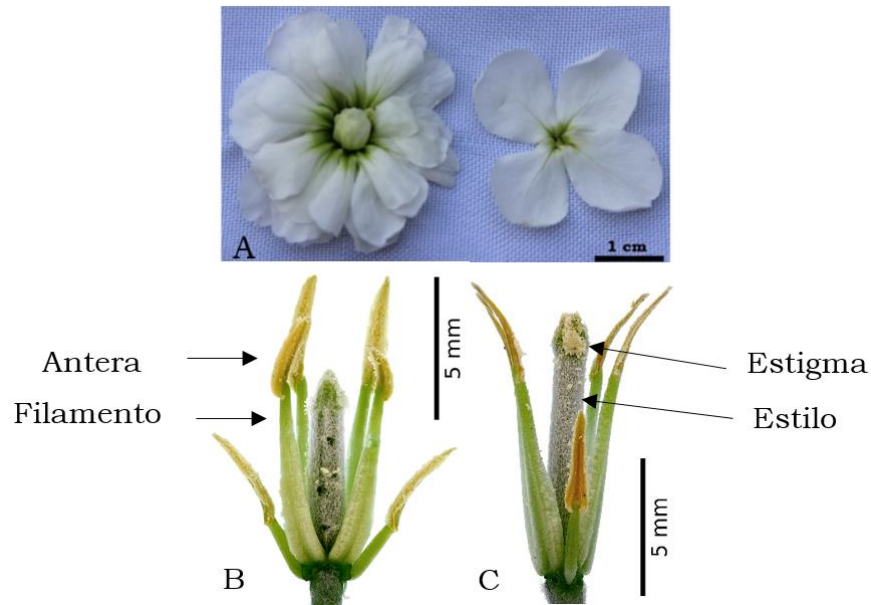


Figura 2. Diagrama de estructuras reproductivas de alheli. **A:** Flor doble (izquierda superior) y flor simple (derecha superior); **B:** Vista frontal a los pistilos y estambres; **C:** Vista lateral.

De la polinización en flores hermafroditas, emerge una vaina (silícula), donde se extraen semillas ovadas, aplanadas y poco densas de margen casi transparente (Davidse *et al.*, 2015). Una característica importante de la semilla es que el color de la testa es propio al color de la inflorescencia (Rasool *et al.*, 2013).

Usos e interés ornamental

En la horticultura ornamental es ampliamente conocida por floristas y se considera como una especie menor en comparación con rosa (*Rosa sp.*),

gladiolo (*Gladiolus hybridus*), clavel (*Dianthus caryophyllus*) o crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) (Verdeguer *et al.*, 1999), sin embargo se integra entre las diez principales flores de corte.

En México el uso de alhelí es como flor de ornato, con elevada demanda en los meses de Octubre y Noviembre, debido a que tradicionalmente se usa como flor de aroma en las ofrendas de día de muertos (parte de la cultura mexicana) (Denis *et al.*, 2012).

En otros usos, la valoración de sus propiedades químicas la han posicionado en el interés de la industria de la cosmetología por la extracción de esencias para la perfumería. También ha generado alto impacto en el área médica, donde ha mostrado respuesta a problemas comunes de la salud humana (Regan y Dole, 2010), ejemplo de ello es el efecto diurético que ofrecen dietas suplementadas con semillas alhelí (Rasool *et al.*, 2013).

Aunado a los beneficios mencionados, actualmente se conoce que de los ácidos grasos que contiene la semilla, el 70 % corresponde en ácido linoleico (Ecker *et al.*, 1992). Dicho compuesto, reduce los niveles de colesterol y triglicéridos (Yaniv *et al.*, 1999), disminuyendo el riesgo a desarrollar diabetes del tipo II y enfermedades cardiovasculares (Serra *et al.*, 2007). Otra aplicación en el área de la salud pero con resultados poco satisfactorios, ha sido integrar el consumo de *M. incana* en tratamientos contra el cáncer (Rasool *et al.*, 2013).

Estatus de producción y manejo agronómico

En México las primeras estadísticas de producción de alhelí surgen en los 80's con 100 ha sembradas en el estado de México, actividad que después de seis años desaparece en las estadísticas del SIAP (2018). Puebla al inicio de los 90's inicia su producción, mostrando durante veinte años la tendencia al incremento de superficie sembrada (Figura 3). Al cierre de producción del 2017 se reportaron casi 400 h establecidas con alhelí, posicionando a Puebla como el principal productor a nivel nacional (SIAP, 2018).

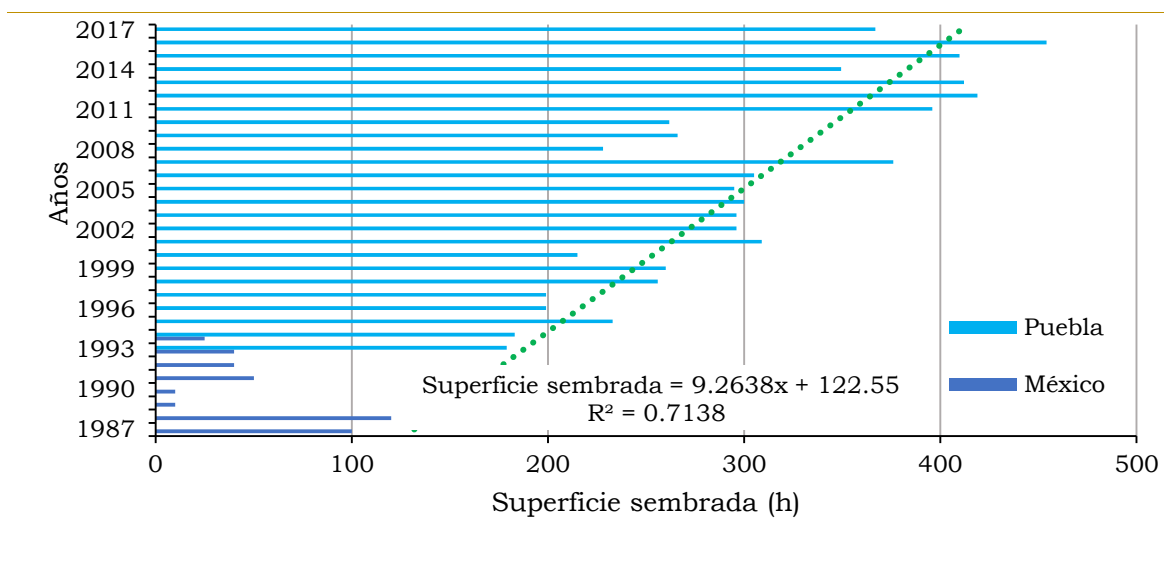


Figura 3. Dinámica de superficie sembrada de alhelí a través de los años en el estado de Puebla y estado de México (Datos obtenidos de SIAP, 2018).

Gran parte de la producción que se genera en el estado de México es por agricultura convencional, hecha con la colecta de semillas de siembras

anteriores. Actualmente dicha practica a generado homocigosis, induciendo la expresión de genes deletéreos que demeritan la producción por depresión endogámica. De lo anterior, el germoplama que comunmente se explota corresponde a aquellos que presentan comportamiento ramificado, tardíos y múltiple variabilidad en las poblaciones (especies silvestres)(Figura 4).



Figura 4. Imagen de lado izquierdo muestra sistema de producción convencional, a la derecha cultivo en sistema tecnificado (imagen tomada del sitio web de Flores Musacco (2018)).

En los sistemas de mediana tecnología, se aprecia una situación distinta ya que la producción se realiza con semilla importada de cultivares previamente mejorados. La presentación en que se obtienen estos híbridos es en sobres con mil semillas con un precio estimado de \$ 400.00 pesos, y solo pueden ser adquiridos cuando existen remesas en países europeos.

En contraste con lo anterior, en mercados locales un kilo de semilla tiene un precio aproximado entre los \$700.00 y hasta \$1000.00 pesos, precio que puede variar en función a la demanda y basado además en el color de la flor (las flores color blanco son de mayor precio).

Lograr calidad con elevados rendimientos va en función de un buen manejo del cultivo por las practicas agronómicas que de éste se integren (Figura 5). En adición a lo anterior, previo al establecimiento del cultivo en necesario considerar que la temperatura fluctue entre los 5 °C y 25 °C, debido a que temperaturas mayores de 25 °C retardan la floración (hasta en ocho meses), mientras que en bajas temperaturas es estimulada la floracion, por ejemplo a 10 °C florece en tres meses. Es una planta de fotoperiodo largo (14 a 16 h luz), con la respuesta de que a mayor días luz se estimula un mayor porcentaje brotes florales (Verdeguer *et al.*, 1999). La condicion de prosperar a bajas temperaturas hacen del alhelí un cultivo alternativo a zonas donde el frio limita el desarrollo de otros cultivos que son sensibles al frío.

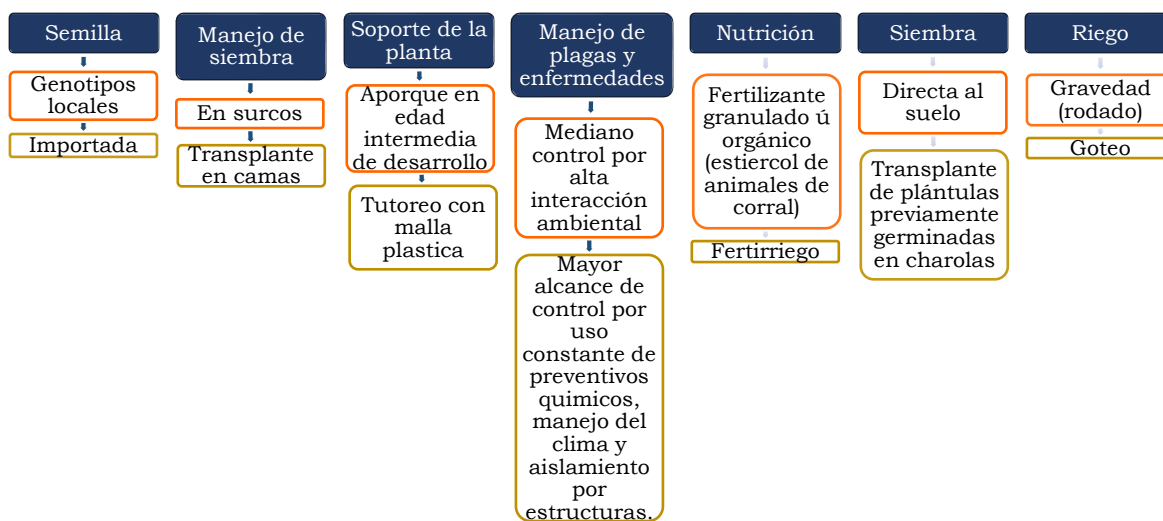


Figura 5. Contraste entre sistemas de producción, rectángulo de fondo azul representa el factor de contraste, rectángulo con borde color naranja situación convencional, rectángulo de borde café manejo en producción tecnificada.

Respecto a las condiciones edáficas se debe establecer la producción en suelos ligeramente pesados de buen drenaje con pH entre 6 y 7.5 (Verdeguer *et al.*, 1999), manteniendo durante todo el ciclo capacidad de campo. La calidad del agua para irrigar no muestra ser un problema, de ello que se ha evaluado su producción con aguas residuales de hasta de 11 dS m⁻¹ y logrado producir flores aptas para el comercio (Grieve *et al.*, 2008).

El alhelí es sensible a la deficiencia de nitrógeno, al afectarse considerablemente el porte, altura de planta, coloración del follaje (pálido) y desarrollando espigas con limitado número de flores. En plantas de flor simple se afecta la longitud de vaina (menor longitud), disminuyendo la producción de semillas y demeritando el porcentaje de germinación (Semeniuk, 1964). Muy poco se conoce sobre las necesidades minerales de la planta, pues a la fecha no hay fundamentos científicos que apoyen a la formulación de un esquema de nutrición.

Patologías que demeritan la producción

Al pertenecer a la familia de las crucíferas el alhelí está expuesto a las mismas patologías que presentan cultivos como brócoli, coliflor o repollo. Sin embargo, daños causados por hongos y en específico de aquellos con

acción en la raíz, alcanzan a ser devastadores si no son detectados y controlados a buen tiempo.

Patógenos asociados a daños en raíz son *Sclerotonia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum f. sp. Mathioli* con diferente modo de infección pero de síntomas similares *Verticillium dahliae* y *Verticillium zaregamsianum* (marchitamiento de raíz), *Rhizoctonia solani* (pobredumbre del pie) y múltiples especies de *Pythium* que provocan Damping off (Koike, 2018).

En la espiga floral es común que se presenten infecciones del hongo *Botrytis cinnerea* y de la bacteria *Pseudomonas syringae pv. maculicola*. Esta última a diferencia de *Botrytis* es mas agresiva por destrozar flores y vainas en cualquier etapa de desarrollo (Koike, 2018).

En la actualidad, el patógeno de mayor importancia es *Xanthomonas campestris pv. incanae*, por transmitirse en semilla (Kendrick, 1938) y ser hospedero específico del género *Matthiola* (Minardi *et al.*, 1988).

En el mercado no hay híbridos que presenten resistencia a este patógeno, debido a que la mayoría corresponden a pedigree de la especie *incana* (altamente susceptible). La resistencia a dicho patógeno se ha observado en las especies *tricuspidata*, *aspera* y *longipetala* (Ecker *et al.*, 1995). Por lo que es factible que mediante cruzas transmitir dicha cualidad a los materiales susceptibles.

Genética y desarrollo de flores dobles

Una forma para determinar la diversidad genética es mediante estudios cromosómicos (Irani y Arab, 2017). *M. incana* es de condición diploide con $2n=14$ ($n=7$) (Irani y Arab, 2017, Martin *et al.*, 2016), pero se han registrado casos en mutantes de progenies F_1 del híbrido Snow flake con 15 cromosomas (Lesley y Frost, 1928).

Un factor que disminuye el rendimiento de alhelí es la frecuencia con que se presenten flores sencillas, debido a que éstas no se comercializan y en caso de serlo son de menor valor.

Aseveraciones hechas por Goldschmidt's (1913) citado por Frost (1915) indican que la condición de formar flores simples se asocia a la dominancia del gene *S* (*flores simples*) sobre el gene *F* (*flores dobles*), heredando de forma dominante la condición de segregar en mayor porcentaje flores simples, misma que indica ser la única ornamental de segregación estéril en flores dobles (Ecker *et al.*, 1993) (Figura 6). Caso contrario en plantas de lisiantus (*Eustoma grandiflorum*) (Suyama *et al.*, 2015) y petunia (*Petunia hybrida*) (Chen *et al.*, 2012), donde el gene que codifica a flores dobles es dominante. Aunque se han presentado casos donde por mutaciones a ocurrido euploidía, hecho que ha reflejado incrementar el índice de flores dobles (Irani *et al.*, 2017).

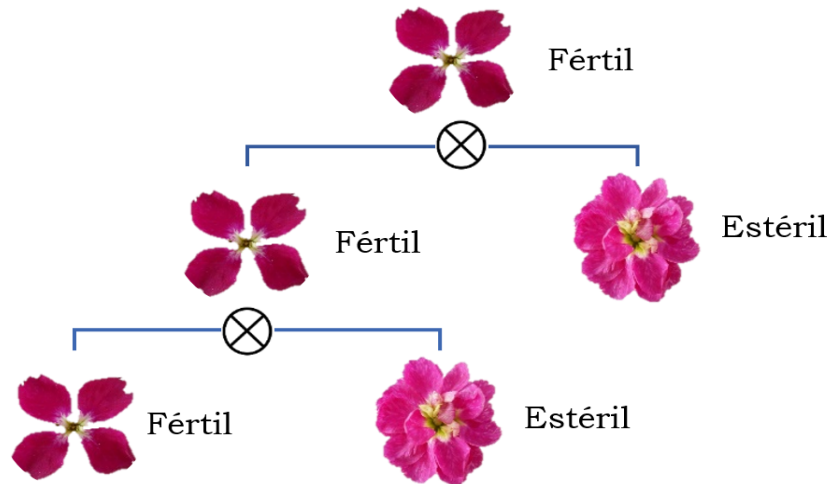


Figura 6. Diagrama de herencia en flores sencillas y dobles de alhelí (Tomado de Frost, 1915, modificación propia).

Esfuerzos en la selección de germoplasma promisorio han indicado que existen aquellas plantas con el 100 % (Allen, 1924), 75 %, 50 % (Irani y Arab, 2017) y 25 % de segregación a tipo de flores simples (Frost, 1915), situación que permite apoyar los programas de mejoramiento genético.

Selección de plántulas simples y dobles

En los esquemas de producción de semilla al no obtener el cien por ciento de flores dobles, se ha optado por correlacionar a través de marcadores morfológicos la predicción de aquellas que formaran flores simples (Philp y Huskins, 1931; Doina-Angela *et al.*, 2007). Esta labor también se practica

en etapas tempranas a nivel de plántula, donde la mayor correlación del color de los cotiledones, y la presencia de hojas pálidas son indicativos de que formaran flores dobles, discriminando así aquellas de un verdor intenso (Famil y Arab, 2017). En la práctica no se recomienda generalizar dichas asociaciones debido a que el genotipo puede corresponder a diferente respuesta de selección, así mismo dejando la incógnita aun sin resolver.

En la transmisión de genes la aportaciones realizadas por Allen (1924), Frost (1915) y Doina *et al.* (2007) muestran las formas de herencia de algunos caracteres de selección agronómica, entre lo cuales se determinó la expresión de herencia dominante al carácter número de espigas florales (0.82), flores por planta (0.66), días a floración (0.78) y altura de planta (0.66). Aquellas de herencia intermedia corresponden al diámetro en flores (simples del 0.55 y dobles de 0.53), y de muy baja heredabilidad la longitud de la vaina (0.36). Es claro que falta determinar aquellos caracteres que integren los componentes de rendimiento, y por dar seguimiento a un esquema de mejoramiento afines de integrar necesidades del tipo de resistencias genéticas o nuevos arquetipos.

Necesidades a la cadena de producción

El alhelí muestra múltiples deficiencias de carácter técnico a pesar de ser una planta con futuro en distintas ramas de la ciencia. Para fines de flor de

corte, urge generar conocimientos en temas que describan procesos metabólicos como la germinación y funcionamiento fisiológico y ecofisiológico de desarrollo. Así como, generar tecnologías de innovación en el manejo de la producción como prácticas culturales, esquemas de nutrición mineral, control fitosanitario, manejo postcosecha y desarrollo de materiales mejorados que ofrezcan amplia gama de colores en flores y distinto hábito de crecimiento (erecto). Adicionalmente, se requiere de la difusión del cultivar con el fin de incrementar el interés de consumo por la comunidad florista y no florista. Así mismo, promover el cultivo en regiones de climas fríos y en aquellas donde las bajas temperaturas son estacionales y no se puede cosechar otras especies, ya que el alhelí muestra prosperar en ambientes de bajas temperaturas.

En plántula, sería apremiante correlacionar más caracteres asociados a la predicción a flores dobles, aunque es más prudente desarrollar un protocolo que describa características morfométricas propias de cada tipo de inflorescencia.

Respecto a la genética del cultivo, falta clarificar temas relacionados con la condición del apareamiento cromosómico, mismo que pudiera dar pauta a entender el hecho de flores dobles con ausencia de estambres y pistilos. Integrar a las ciencias “ómicas” y dar pauta a temas moleculares con el objetivo de construir bibliotecas de regiones que codifiquen a caracteres de interés agronómico.

Mejoramiento genético por mutagénesis

En el recorrido histórico de la mutagénesis como técnica introducida al fitomejoramiento, se documentan hechos que han aportado logros en su aplicación, ejemplo de ello se tienen las contribuciones de Hugo de Vries (Ulukapi y Nasircilar, 2015), y los trabajos de Hermann J. Muller a quien lo llevaron a ser galardonado premio Nobel por la aplicación de Rayos X (Lönning, 2005).

El mejoramiento por mutagénesis se genera de tres formas, la primera como resultado de una inducción por exposición, a agentes físicos (rayos X, rayos gamma, iones etc.) o tratamientos químicos (Etil metano sulfonato, colchicina etc.) (Kodym y Afza, 2018). La segunda como mutagénesis dirigida a un sitio definido en el ADN, y la mutagénesis por inserción vía transformación genética y la inserción de *T-DNA* o inclusive el prendimiento de transposones (Oladosu *et al.*, 2016). De lo anterior, los mutágenos físicos de radiación ionizante se han vuelto frecuentes por su fácil manejo, aplicación y alta frecuencia como inductores de variabilidad (Shu *et al.*, 2011). Este tipo de radiación actúa al impacto con la materia afectando la estructura de los átomos, incrementando la energía de estos a punto máximo de excitación, ocasionando la expulsión de electrones (Shu *et al.* 2011) e induciendo la presencia de radicales libres (Rahimi y Bahrani, 2011; Bijay-Singh, 2015). El efecto de dichos radicales se asocia a la capacidad de

modificar la morfología, anatomía, bioquímica y fisiología de las plantas (Rahimi y Bahrani, 2011).

En la mutagénesis se emplean adjetivos que son importantes no confundir; ejemplo de ello es el término “Mutante” que se otorga aquellos organismos que han sufrido cambios permanentes en la secuencia de sus nucleótidos (genoma) por modos diferentes al de recombinación y segregación (Van Harten, 1998; Patil y Patil, 2009), siendo el origen de estos cambios la exposición a agentes mutágenos (Ulukapi y Nasircilar, 2015).

El término “*Sport*” es de reciente introducción y se le otorga aquellos organismos originados por cambios espontáneos en la naturaleza (Van Harten, 2002). Es común que organismos tratados con algún mutágeno en la primera generación presenten cambios, como un mosaico de células genéticamente diferentes en el mismo meristemo, del tipo sectorial, mericlinal y periclinal, y estos mismos cambios sean reparados para la segunda generación, hecho que indica que los cambios no sean heredados, es entonces cuando se integra el término “Quimera” (Burge *et al.*, 2002).

Mejoramiento en ornamentales por mutagénesis

El término “Mutation breeding” o mejoramiento por mutagenesis fue introducido en 1944 por Freisleben y Lein, después de ocho años del primer acierto con un mutante generado por rayos X en tabaco (*Nicotiana tabacum*)

(Shu *et al.*, 2011). El mejoramiento genético por mutagénesis en la horticultura ornamental ha generado impacto por el sencillo monitoreo de los mutantes y la bondad de que la mayoría de las especies oramentales son de propagación asexual, lo que implica que el incremento de un mutante potencial se mantiene por la vía clonal (Van Harten, 2002).

La era de los mutantes ornamentales comienza en 1954 con el registro en la MVD (Mutant Variety Database) de tulipan (*Tulipa spp.*), generado en Holanda (FAO/IAEA, 2017). Los registros continuaron hasta alcanzar entre los años 70 y 90's la cúspide de registros. A la fecha esta lista a parado (Figura 7). Crisantemo (*D. grandiflorum*) encabeza la lista de mutantes con 281 registros (38 %), enseguida rosal (*R. spp.*) con 67 registros, dalia (*Dalia spp.*) y alstroemeria (*Alstroemeria spp.*) con 35 cada uno, estreptocarpus (*Streptocarpus spp.*) con 30, clavel (*D. spp.*) apenas 28 y otras 67 especies que en proporción suman el 32 % del total de mutantes registrados (FAO, 2018).

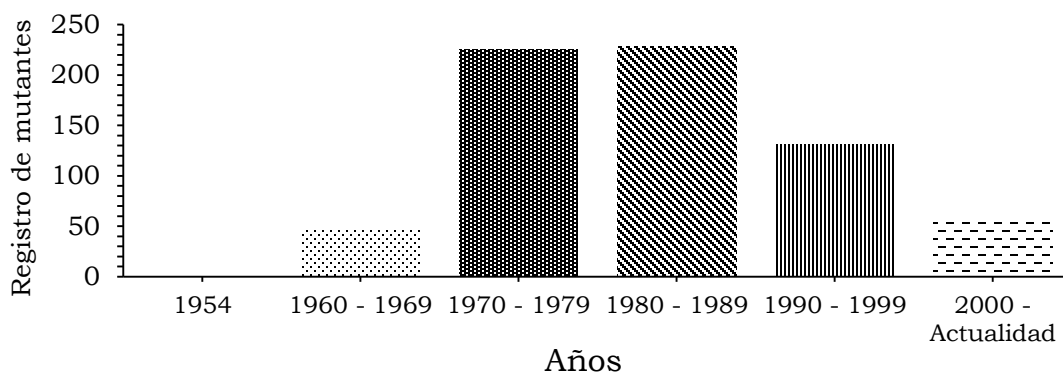


Figura 7. Dinámica de registro a través de los años en la MVD (Mutant Variety Database) (Elaboración propia con datos de FAO (2018)).

En relación al párrafo anterior, ^{60}Co se encuentra dentro de los mutágenos de mayor frecuencia para generar nuevos cultivares en especies ornamentales (Schum, 2003; FAO, 2018) (Figura 8).

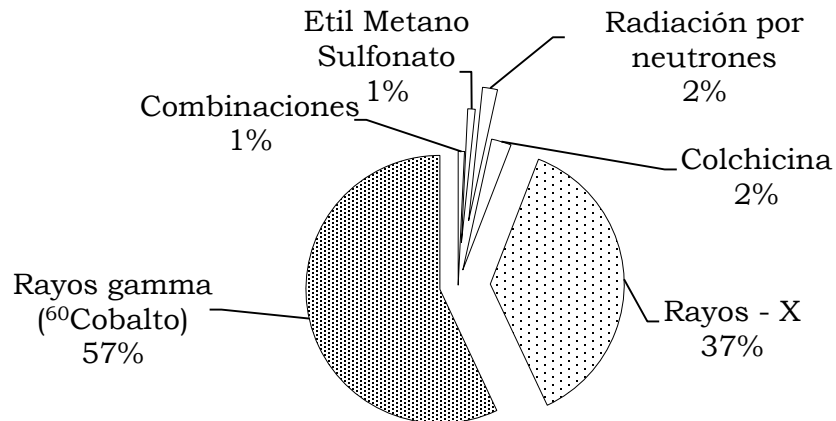


Figura 8. Agentes mutagénicos de uso en la generación de mutantes en la MVD (Mutant Variety Database) (Elaboración propia con datos de FAO (2018)).

El acervo bibliográfico documenta casos de éxito en la aplicación ^{60}Co en flores de ornato (Schum, 2003; Ghani *et al.*, 2013; Hasbullah *et al.*, 2012). Muestra de ello son trabajos hechos en rosal (*R. spp.*) donde se modificó el color de los pétalos, pasando de rojo a diferentes tonalidades en rosa, además, se mostró la disminución en el número de espinas y longitud del pedicelo (Koh *et al.*, 2008; Koh, 2011).

En gerbera (*Gerbera jamesonii* Hook.) fueron Ghani *et al.* (2013) quienes indujeron cambios aumentando el diámetro del disco floral y el número de tallos generados por planta, sin embargo, el cambio más visible fue el color

de los pétalos debido a que el cultivar inicial tenía la inflorescencia color rojo y después de ser tratado paso a color naranja.

En *Tigridia pavonia* (L.f.) D.C. var. “Sandra” se observó amplia variación en caracteres cuantitativos como el incremento de flores por bulbo y longitud máxima de las hojas presentes en el tallo. Así mismo, como en rosal (*R. spp.*) y gerbera (*G. jamesonii*) se mostraron cambios en la pigmentación de la inflorescencia, donde obtuvieron incrementos y variación en las manchas del centro y copa de la flor (Díaz *et al.*, 2003).

La lista de especies ornamentales continúa, y en la mayoría de trabajos se concuerda del cambio de color en la inflorescencia (Simard *et al.*, 1992; Dahab *et al.*, 2017; Berenschot *et al.*, 2008; Matsubara, 1973; Sheela *et al.*, 2008). Tal modificación se le atribuye a una interrupción en la biosíntesis de la enzima flavonoide 3-hidroxilasa (F3H), modificando directamente la presencia de antocianinas, flavonas y compuestos que dan el color a la inflorescencia (Lema-rumi y Zalewska, 2005).

LITERATURA CITADA

- Allen, I. M. 1924. The cytology of *Matthiola incana* with reference to the genetics of certain cultivated varieties. *New Phytol.* 23:103–112.
- Bailey, L. 1946. *Manual of cultivated plants. Most commonly grown in the United States and Canada.* New York: The Macmillan Company.
- Berenschot, A. S., Zucchi, M. I., Tulmann-neto, A. and Quecini, V. 2008. Mutagenesis in *Petunia x hybrida* Vilm. and isolation of a novel morphological mutant. *Brazilian J. of Plant Physiol.* 20: 95–103.
- Bijay-Singh. 2015. Foreword. Crop production and global environmental issues. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23162-4>
- BRASSIBASE. 2018. BrassiBase tools and biological resources for *Brassicaceae* character and trait studies. (Consulta septiembre 2018). <https://brassibase.cos.uni-heidelberg.de/>
- Chen, C. M., Wei, T. Y. and Yeh, D. M. 2012. Morphology and inheritance of double floweredness in *Catharanthus roseus*. *HortScience.* 47: 1679–1681.
- Dahab, A. M. A., Heikal, A. A. M., Taha, L. S., Gabr, A. M. M. and Metwally, S. A. 2017. *In vitro* mutagenesis induction in *Eustoma grandiflorum* plant using gamma radiation. *J. Env. Sci. and Tech.* 10: 175–185. <https://doi.org/10.3923/jest.2017.175.185>
- Davidse, G., Sousa, M. S., Knapp, S. and Chiang, F. 2015. *Flora Mesoamericana.* St. Louis: Missouri Botanical Garden.
- Denis, R. P. B., Hermida, M. A. y Huesca, M. J. 2012. El altar de muertos: origen y significado en México. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana.* 35: 1–7.

- Díaz, E. L., Pichardo, J. R., de la Cruz, E. T., Norman, T. M., Sandoval, F. R. y Vázquez, L. G. 2003. Variabilidad inducida en *Tigridia pavonia* (L.f.) D.C. var. Sandra por irradiación de bulbos con rayos gamma de ^{60}Co . Rev. Chapingo Serie Horti. 9: 235–237.
- Dirmenci, T., Satil, F. and Tümen, G. 2006. A new species of *Matthiola* R. Br. (*Brassicaceae*) from Turkey. Bot. J. of the Linnean Soc.151: 431–435. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00518.x>
- Doina-Angela, P., Ardelean, M., Cordea, M., Mitre, V. and Nicoar, A. 2007. Heritability of several quantitative characters of interest in gillyflower (*Matthiola Incana*) Breeding. Buletinul USAMV-CN. 64: 54–57.
- Doreste, J. L. S., Caujapé-Castells, J., Reyes-Betancort, J. A. and Scholz, S. 2006. Population genetics of *Matthiola bolleana* (*Brassicaceae*) in the Canary Islands. Plant Systematics and Evolution. 262: 139–151. <https://doi.org/10.1007/s00606-006-0457-2>
- Ecker, R., Barzilay, A. and Osherenko, E. 1993. Linkage relationships of genes for leaf morphology and double flowering in *Matthiola incana*. Euphytica. 74: 133–136. <https://doi.org/10.1007/BF00033778>
- Ecker, R., Zutra, D., Barzilay, A., Osherenko, E. and Rav-David, D. 1995. Sources of resistance to bacterial blight of stock (*Matthiola incana* R . Br .). Genetic Resources and Crop Evolution. 42: 371–372.
- Famil, S. I. and Arab, M. 2017. Early selection of double flowers based on cotyledon shape in cut stock (*Matthiola incana* L.) Flowers. Horticultural Science and Technology. 35: 265–275.
- FAO 2018. Mutant Variety Database.(Consulta: octubre 2018) Obtenido de <https://mvd.iaea.org/#!/Search>.
- Fernández, P. Y. L. y Trejo, T. L. I. 2018. Biología, importancia económica y principales líneas de investigación en *lisianthus*: una especie ornamental nativa de México. Agroproductividad. 11: 177–182.

- Flora-Italiana. 2018. Flora Italiana. (Consulta: septiembre 2018):
<http://luirig.altervista.org/flora/taxa/floraspecie.php?genere=Matthiola>
- FloresMusacco. 2018. Flores Musacco. (Consulta: septiembre 2018).
<http://floresmusacco.com/aleli-flores-de-produccion-nacional-2/>
- Frost, H. B. 1915. The inheritance of doubleness in *Matthiola* and *Petunia* I . The hypotheses. The American Naturalist. 49: 623–636.
- Ghani, M., Kumar, S. and Thakur, M. 2013. Induction of novel variants through physical and chemical mutagenesis in *Barbeton daisy* (*Gerbera jamesonii* Hook.). J. of Hort. Sci. and Biotech. 88: 585–590.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11513010>
- Grieve, C. M., Poss, J. A., Shouse, P. J. and Carter, C. T. 2008. Modeling growth of *Matthiola incana* in response to saline wastewaters differing in nitrogen level. HortScience. 43: 1787–1793.
- Hasbullah, N. A., Taha, R. M., Saleh, A. and Mahmad, N. 2012. Irradiation effect on *in vitro* organogenesis, callus growth and plantlet development of *Gerbera jamesonii*. Horticultura Brasileira. 30: 252–257.
- Hisamatsu, T. and Koshioka, M. 2001. Regulation of flowering in stock (*Matthiola incana* (L.) R. Br.) by manipulation of gibberellin biosynthesis. JARQ. 34: 263–269.
- Hisamatsu, T., Oyama-Okubo, N., Ichimura, K., Esaki, S., Oi, R. and Koshioka, M. 2002. Interactions of red and far-red light modification with temperature on shoot extension and flowering in stock (*Matthiola incana* (L.) R. Br.). J. of Hort. Sci. and Biotech. 77: 1–8.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511447>
- IPNI. 2018. The International Plant Names Index. (Consulta: septiembre 2018)
<http://www.ipni.org/ipni/advPlantNameSearch.do?navig=Show+%3A>

[&chunk_size=100&start_row=0&find_infragenus=&find_geoUnit=&find_includePublicationAuthors=%24unicodeutil.stripAccents%28%24value%29&find_addedSince=&find_family=&find_genus=matthiola&find_sortBy.](#)

- Irani, S. F. and Arab, M. 2017. Meiotic behaviour and morpho-phenological variation in cut stock (*Matthiola incana* L.) flower. *Folia Horticulturae*. 1: 51–61. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0006>
- Kendrick, J. B. 1938. A seed-borne bacterial disease of garden stocks *Matthiola incana*. (Abstr.) *Phytopathology*. 28:12.
- Koike, S. T. 2018. Diseases of Stock. In R. J. McGovern and W. H. Elmer (Eds.). *Handbook of florist´ crops diseases* (Springer I, pp. 767–786). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-39670-5_26
- Khosravi, A. R. and Maassoumi, A. A. 1998. Contribution to the cytotaxonomy of some cruciferae from Iran. *Iran J. Bot.* 7: 193–206.
- Kodym, A. and Afza, R. 2018. Physical and chemical mutagenesis. *Plant Functional Genomics*. :189–204. <https://doi.org/10.1385/1-59259-413-1:189>
- Koh, G. 2011. Characteristics comparison of mutants induced through gamma irradiation in “*Kardinal*” rose. *Kor. J. of Hort. Sci. and Tech.* 29: 456–460.
- Koh, G.-C., Ahn, K.-B., Gi, G.-Y., Na, T.-S. and Kang, S.-Y. 2008. Breeding of rose “*Gippeumi*” with orange-red flower through gamma irradiation. *Kor. J. of Hort. Sci. and Tech.* 26: 445–448.
- Lema-rumi, J. and Zalewska, M. 2005. Changes in flower colour among *Lady Group* of *Chrysanthemum* × *grandiflorum* / *Ramat* ./ *Kitam* . as a result of mutation breeding. *Folia Horticulture*. 17: 61–72.
- Lesley, M. M. and Frost, H. B. 1928. Two Extreme " Small " *Matthiola* plants :

- A haploid with one and a diploid with two additional chromosome fragments. *The American Naturalist*. 62: 22–33.
- Leszczyńska-Borys, H. y Borys, M. W. 2008. Introducción a la horticultura ornamental y ambiental. *Animal Genetics*. Fundación Produce y Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Vol. 39.
- Lim, T. K. 2014. Edible medicinal and non-medicinal plants: Volume 7, flowers. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 7, Flowers* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7395-0>
- Martin, E., Ünal, M., Doğan, B., Altınordu, F., Sefali, A. and Kaya, A. 2016. Karyotype analyses of the genus *Matthiola* (*Brassicaceae*) in Turkey. *Cytologia*. 81: 53–60. <https://doi.org/10.1508/cytologia.81.53>
- Martin, E., Yilmaz, G. and Tekin, M. 2013. Karyology of endemic *Matthiola anchoniifolia* Hub. -Mor. (*Brassicaceae*) in Turkey. *Caryologia*. 66: 293–295. <https://doi.org/10.1080/00087114.2013.852343>
- Matsubara, H. 1973. Morphological investigations on the tulip plants irradiated by gamma rays. I Effects of the time for irradiation. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 43: 430–442.
- Minardi, P., Mazzucchi, U. and Parrini, C. 1988. Epidemics of bacterial blight of stock (*Matthiola incana* R. Br.) caused by *Xanthomonas campestris* pv. *incanae* in Tuscany. *Informatore Fitopatologico*. 38: 43–46.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A. and Usman, M. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: A review. *Biotech. and Biotechnological Equipment*. 30: 1–16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>
- Philp, J. and Huskins, L. 1931. The cytology of *Matthiola incana* R. B.R. Especially in relation to the inheritance of double flowers. *J. Genetics*. 28: 359–404.

- Ramirez, Z. G. y Chavez, S. J. L. 2014. Mejoramiento genético de ornamentales del Estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México-ICAMEX.
- Rasool, N., Afzal, S., Riaz, M., Rashid, U., Rizwan, K., Zubair, M. and Shahid, M. 2013. Evaluation of antioxidant activity, cytotoxic studies and GC-MS profiling of *Matthiola incana* (Stock flower). *Legume Research*. 36: 21–32.
- Regan, E. M., y Dole, J. M. 2010. Postharvest handling procedures of *Matthiola incana* “Vivas Blue.” *Postharvest Biol. y and Tech.* 58: 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.07.011>
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán). pp. 1406.
- Sánchez, J. L., Domina, G. and Caujapé-Castells, J. 2005. Genetic differentiation of three species of *Matthiola* (*Brassicaceae*) in the Sicilian insular system. *Plant Systematics and Evolution*. 253: 81–93. <https://doi.org/10.1007/s00606-005-0307-7>
- Semeniuk, P. 1964. Effect of various levels of nitrogen, phosphorus, and potassium on seed production and germination of *Matthiola incana*. *Botanical Gazette*. 125: 62-65. <https://doi.org/10.1086/336246>
- Serra, B. B., Rioja, A. Q. y Arribas, M. V. 2007. Simposio I . Avances en el manejo del sobrepeso y de la obesidad. Efectos de la suplementación con ácido linoleico conjugado sobre parámetros relacionados con el metabolismo lipídico y la resistencia a la insulina en niños y adolescentes obesos. *Bol. Pediatr.* 47: 18–22.
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (Consulta:

- septiembre 2018). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Simard, M. H., Michaux, N. F. and Silvy, A. 1992. Variants of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) obtained by organogenesis from irradiated petals. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 29: 37–42. <https://doi.org/10.1007/BF00036144>
- Suyama, T., Tanigawa, T., Yamada, A., Matsuno, T., Kunitake, T., Saeki, K., and Nakamura, C. 2015. Inheritance of the double-flowered Trait in decorative hydrangea flowers. *The Hor J*. 84: 253–260. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-018>.
- Schum, A. 2003. Mutation breeding in ornamentals: An efficient breeding method? *Acta Horti*. 612: 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.612.6>
- Sheela, V. L., Anita, S., Sarada, S. and Rajmohan, K. 2008. International Symposium on induced mutations in plants. *In Vitro* mutagenesis in *Dendrobium* cv Sonia. pp:118.
- Shu, Q. Y., Forster, B. P. and Nakagawa, H. 2011. Plant mutation breeding and biotechnology. *Plant mutation breeding and biotechnology* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- van Harten, A. 2002. Mutation breeding of vegetatively propagated ornamentals. In A. Vainstein, *Breeding for ornamentals: Classical and Molecular Approaches* (págs. 105-127). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- van Tuyl, J. M. 2012. Ornamental plant breeding activities worldwide. *Acta Horticulturae*. 953: 13–17. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.953.1>
- van Tuyl, J. M., Arens, P., Miller, W. B. and Anderson, N. O. 2008. The role of ornamentals in human life. In: *Horticulture: Plants for people and places*, Volumen 1. G. R. Dixon and D. E. Aldous. Eds. Vol. 39.

<https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5>

Verdeguer, M. A., Tortosa, M. A., Baraja y del P. B. M. 1999. Cultivo del alhelí en invernadero para flor cortada. Série Divulgación técnica. Generalitat Valenciana, Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia.

Yaniv, Z., Schafferman, D., Shamir, I. and Madar, Z. 1999. Cholesterol and triglyceride reduction in rats fed *Matthiola incana* seed oil rich in (n-3) fatty acids. J. of Agricul. and Food Chem. 47: 637–642.

<https://doi.org/10.1021/jf980744k>

CAPITULO I. CARACTERES MORFOLÓGICOS E IDENTIFICACIÓN DE SUB-FASES DURANTE LA IMBIBICIÓN DE SEMILLAS DE ALHELÍ

(*Matthiola incana*)

RESUMEN

Los caracteres forma y peso de la semilla son caracteres indicativos del grado de domesticación de las especies. En alhelí, no se cuenta con referencias sobre la descripción de semillas de la especie *incana*, y también se desconoce cómo es su proceso de imbibición. El objetivo de la investigación fue describir los atributos físicos en semillas de tres genotipos de alhelí (Nieve, Rosita y Uva), y determinar la curva de imbibición para cada genotipo. Las variables estudiadas fueron, peso de mil semillas, área, perímetro, largo, ancho y forma y se calculó el consumo de agua para obtener la curva de imbibición por genotipo. Los resultados mostraron que las semillas de Nieve poseen mayores dimensiones en las características morfológicas, mismas que le atribuyeron un mayor peso, respecto a Rosita y Uva. En la imbibición se identificarón tres fases, donde la fase dos se subdivide en dos subfases, la primera reconocida como el momento de expulsión de solutos y la segunda como recuperación a los solutos perdidos, el ciclo se mostró completó a la emergencia de la radícula, lo que coincidió con los tres genotipos a las 164 horas.

Palabras clave: *Matthiola*, germinación, ornamental, caracteres físicos

ABSTRACT

Characteristics of form and weight give information concerning the degree of domestication of the species. In stock flower, there are no references on the description of seeds of the incana species, being also unknown the process of imbibition. The aim of the following manuscript to describe the physical attributes in seeds of three genotypes of stock flower (Nieve, Rosita and Uva), and to determine the curve of imbibition for each genotype. The variables studied were, weight of a thousand seeds, area, perimeter, length, width and shape; also the consumption of water to determine the curve of imbibition by genotype was performed. The results showed that the Nieve seeds have greater dimensions in the morphological characteristics, being also with attributed a greater weight, compared to Rosita and Uva. In the imbibition three phases were identified, being in phase two divided into two subphases, the first recognized as the moment of expulsion of solutes and the second as recovery of the lost solutes, the cycle was shown completed to the emergence of the radicle a period in the three genotypes at 164 hours.

Keywords: *Matthiola*, germination, ornamental, physical characters

1.1 INTRODUCCIÓN

Las características de las semillas se relacionan con el grado de domesticación que han sufrido por selección natural o selección ambiental (Smýkal *et al.*, 2018), siendo los caracteres de mayor representación el tamaño, peso (Souza y Fagundes, 2014), color y forma (Bassiri y Kheradnam, 1976).

La caracterización física de semillas constituye una tarea importante en el estudio de la calidad de las semillas. Sin embargo, el tamaño tan pequeño de las semillas de algunas especies, es un obstáculo que impide hacer una buena medición de las semillas. Aunado a lo anterior, se tienen situaciones, como la alta similitud morfológica a simple vista, de las semillas de algunos genotipos (García y Estrada, 1999); por ello que en la actualidad se utilizan otras tecnologías como el procesamiento de imágenes digitales en softwares especializados (Jamil *et al.*, 2017, Saucedo *et al.*, 2017), técnica que ofrece ventajas como el mínimo tiempo y personal de trabajo, capacidad para procesar muestras grandes (Sandeep y Durga, 2013), y alta precisión con múltiples variables (García y Estrada, 1999).

Las referencias en la descripción de semillas de alhelí se limitan a *M. longipetal* spp. *incana*, *M. anchoniifolia* (Tekin *et al.*, 2013), *M. longipetala* spp. *bicornis*, *M. longipetala* spp. *hitra* (Tantawy *et al.*, 2004), *M. arabica*, *M.*

fruticulosa, *M. longipetala* spp. *Kralikii*, *M. longipetala* spp. *livida*, *M. longipetala* spp. *longipetala*, *M. parviflora* (Khalik et al., 2002).

La germinación es un proceso complejo que inicia con la imbibición de la semilla (Ma et al., 2017), la cual se compone de tres fases, la primera ocurre cuando la semilla entra en contacto con el agua y comienza un rápido consumo de agua (fase I), seguido de un mínimo consumo estable (fase II), que con la presencia de tal comportamiento, se inicia la protuberancia de la radícula (fase III), acción que marca el fin de la imbibición (Bradford, 1990; Schneider y Renault, 1997).

En crucíferas como canola (*Brassica napus*) (Zhang et al., 2008), *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*) (Yamauchi et al., 2004), y rábano (*Raphanus sativus*) (Booth y Bai, 1999) se ha descrito este proceso, pero en *Matthiola* aún se desconoce el proceso. Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue la descripción de caracteres morfométricos en semilla de tres genotipos de alheli, así como para describir la dinámica de imbibición.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de los ejemplares “Nieve”, “Rosita” y “Uva” del ciclo de recolecta otoño - invierno 2017. El experimento se realizó en el Laboratorio de Embriogénesis del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 27´

46° N y 98° 54' 17" W) Edo. de México. Las variables evaluadas fueron las siguientes.

1.2.1 Determinación de color

Una muestra de mil semillas fue puesta en contraste a las cartas de la *Royal Horticultural Society* (RHS) (2018), y se realizó el registro del color que mejor parentesco mostro a dicha muestra.

1.2.2 Peso de mil semillas

La estimación fue por genotipo, formando ocho repeticiones de cien semillas, de cada repetición; se obtuvo el peso en una balanza digital (ADAM PW 254, Capacidad de 200 g y precisión de 0.0001 g). Los valores obtenidos se adaptaron a mil semillas como lo establece la International Seed Testing Association (2010).

1.2.3 Procesamiento de imágenes

En la pantalla del escáner (EPSON STYLUS CX5600®), se capturaron imágenes a color (Color 24 bits, 400 PPP), de diez muestras de cien semillas por genotipo. Las imágenes fueron procesadas con el software *ImageJ*. Se determinó el área, perímetro, longitud (eje mayor), ancho, ángulo, elongación (longitud/ancho) y el grado de redondez (Zayas *et al.* 1985).

1.2.4 Absorción de agua

Por genotipo se formaron cuatro muestras de cincuenta semillas, se obtuvo el peso en seco, para después depositarlas en mini charolas de plástico con

un volumen de 3 mL de agua destilada. Después de una hora se extrajeron las semillas, se secaron con papel (Sanitas®) y se tomó la lectura de la ganancia en peso (g). En cada medición se incorporaba el volumen inicial de agua destilada (3 mL). El procedimiento se repitió de manera continua por ocho horas; y después la lectura fue cada 24, 48, 72 y 164 h. El experimento se mantuvo a una temperatura de 24°C ± 2 con fotoperiodo constante de 24 h. Para calcular el volumen del agua consumida (VAC) se modificó la fórmula propuesta List (2014), quedando de la siguiente manera:

$$\text{VAC (mL)} = \frac{a \text{ (g)} - b \text{ (g)}}{c \text{ (g mL}^{-1}\text{)}}$$

Donde: volumen de agua consumida (VAC), se obtiene por la diferencia del peso de la muestra sometida a imbibición (*a*) menos el peso inicial de las semillas en seco (*b*); entre la densidad del agua a temperatura que se maneja el experimento (*c*). Por cada genotipo se graficó la curva de imbibición.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1 Características morfológicas

El color de las semillas se muestra en la Figura 1. Hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el peso de mil semillas para los tres genotipos. La semilla del genotipo Nieve fue la más pesada (0.2186 g), en contraste con Uva, existe una diferencia de 914 mg (Figura 1). Respecto a lo anterior se

infiere que la semilla del genotipo Uva posiblemente contenga menor contenido de reservas (Duarte *et al.*, 2017). Las diferencias obtenidas en peso se atribuyen al origen de la misma, a la ubicación en el estrato supero o ínfero de la planta madre, y a las condiciones bióticas y abióticas que afectan y demeritan la disponibilidad de recursos en su formación (Raya *et al.*, 2012).

Las características morfométricas de las semillas se muestran en el Cuadro 1. Semillas de Nieve son grandes (5.28 mm) de perímetro extenso (9 mm) en contraste a las semillas de Rosita y Uva. De acuerdo a lo observado para estos materiales, existe similitud entre ellos en los caracteres de largo y ancho, que respecto a otros materiales son de la misma forma orbicular que semillas de *M. longipetala spp. hirta* pero diferentes a *M. arabica*, *M. fruticulosa*, *M. parviflora* y sub especies *bicoloris*, *kralikii*, *lívida*, *longipetala*, que son de forma oblonga (Khalik y Van der Maesen, 2002).




Cuadro 1. Comparación múltiple de medias en atributos morfológicos de tres genotipos de alhelí.

Gen	Atributos morfológicos									
	Área (mm ²)		Perímetro (mm)		Largo (mm)		Ancho (mm)		Forma	
	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.
Nieve	5.29 a	31.0	9.00 a	15.7	2.88 a	15.8	2.29 a	17.0	0.80 b	9.2
Uva	4.08 b	15.6	7.86 b	10.2	2.47 b	8.8	2.09 b	10.4	0.83 a	10.8
Rosit a	3.16 c	60.0	6.32 c	51.3	1.99 c	51.1	1.61 c	51.4	0.79 b	11.5
DMS*	0.248		0.34		0.109		0.090		0.014	

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey < 0.05); \bar{x} : Media; CV: Coeficiente de variación; Gen: Genotipo; DMS: Diferencia mínima significativa.

Los resultados en los genotipos aquí estudiados en contraste a lo reportado para las especies *arabica*, *fruticulosa*, *parviflora*, y las subespecies *longipetala* (*bicoloris*, *hirta*, *kralikii*, *livida*, *longipetala*) (Khalik y Van der Maesen, 2002; Tekin *et al.*, 2013), indican que semillas de la especie *incana* poseen mayor dimensión en sus caracteres morfológicos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Color, forma, peso de mil semillas y diferencia al peso más grande de semillas de alhelí en ejemplares “Nieve”, “Rosita” y “Uva”.

Genotipo	Imagen	Color	Forma	*PMS (g)	†DVA (mg)
Nieve		Naranja moderado	orbicular	0.2186	-----
Rosita		Amarillo anaranjado moderado	orbicular	0.1902	- 284
Uva		Grisáceo café oscuro	orbicular	0.1272	- 914

*PMS: Peso de mil semillas; † DVA: Diferencia al valor más alto.

3.2 Dinámica de imbibición por consumo de agua

El consumo de agua por las semillas en las primeras seis horas fue rápido, correspondiendo este comportamiento como la fase I (Figura 1). Tiempo similar observaron en semillas de trigo (*Triticum aestivum*) (Abenavoli *et al.*, 2006) y maíz (*Zea mays*)(Yu-qin y Song-quan, 2008), pero diferente por una

hora más en semillas de canola (*B. napus*) (Zhang *et al.*, 2008). El rápido consumo de agua se atribuye a una diferencia de presiones del potencial osmótico de la semilla y el agua, afectando el tamaño y forma (Robert *et al.*, 2008).

La dinámica de absorción después de seis horas no aumentó y el peso de las semillas disminuyó en los tres genotipos, por fuga de solutos. La curva para Nieve y Rosita muestra después de cuatro horas una reactivación al consumo. Mientras que en Uva el comportamiento se mantuvo por 18 h, tiempo en que perdió 0.030 mL.

Durante la imbibición, la expulsión de solutos también ha sido descrita en semillas de rábano (*B. raphus*) (Murphy y Noland, 1982). Tal comportamiento se relaciona con el color de la semilla, ya que semillas de testa oscura se ha observado que liberan taninos, y compuestos oxidativos (Rahman y McVetty, 2011; Gairola *et al.*, 2018) mismos que se encuentran en las células empalizadas de la epidermis y que afectan la germinación. En contraparte, Bradford (1990) afirma que semilla de testa clara son más rápidas en imbibición. Como se ejemplifica en el Cuadro 2, la testa de Uva es de color oscuro respecto a Rosita y Nieve.

Superada la liberación de solutos por las semillas, se reinicia el consumo de agua de forma estable. Hecho que sugiere a estos dos eventos considerarse como subfases de la fase II, donde, la primera corresponde a la expulsión de solutos, con una duración de dos horas para Nieve y Rosita y de dieciocho

para Uva. La segunda, subfase surge como respuesta a una reactivación al consumo estable de agua en los tres genotipos en estudio. El tiempo observado en la fase I y II, concuerda con lo reportado por Bewley, 1997 y Cláudio *et al.*, 2011 quienes mencionan que en la imbibición la fase dos se mantiene diez veces más en tiempo que la fase I.

La fase III o pre- germinación se identificó a las 72 h, donde se observó la aparición de la radícula y la emergencia de esta transcurrió a las 92 h. En esta etapa se da por concluida la imbibición y se inicia el desarrollo de la plántula.

3.4 CONCLUSIONES

Los caracteres morfométricos de los genotipos Nieve, Rosita y Uva muestran diferencias al peso de mil semillas, área, perímetro y color, pero semejantes en forma (orbicular). El periodo de imbibición tarda 162 h para los tres genotipos. Se identificaron dos subfases en la fase dos, reconociendo a la primera como de expulsión de solutos y la segunda como de reactivación del consumo de agua, así mismo, el tiempo en que cada fase fue superada fue diferente para cada genotipo.

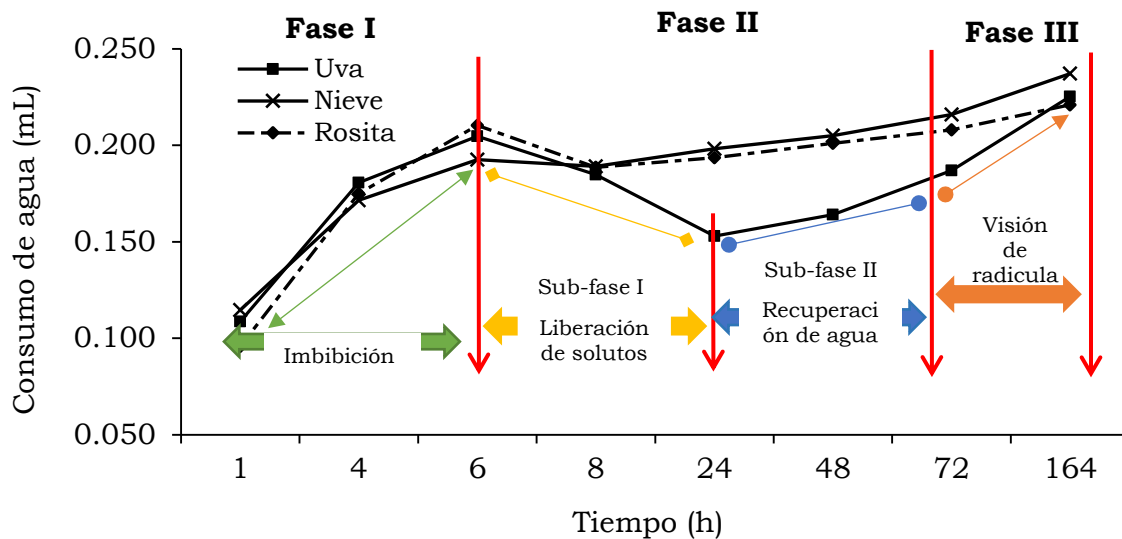


Figura 1. Dinámica de absorción de agua y división de la fase I, II y III en los genotipos CM, CB y CR y propuesta de integración de dos subfases en fase II.

V. LITARATURA CITADA

- Abenavoli, M. R., Cacco, G., Sorgonà, A., Marabottini, R., Paolacci, A. R., Ciaffi, M. and Badiani, M. 2006. The inhibitory effects of coumarin on the germination of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* cv. Simeto) seeds. *J. of Chemical Ecology*. 32: 489–506. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-9011-x>
- Bassiri, A. and Kheradnam, M. 1976. Relationships between seed color and viability, germination and seedling growth of wild safflower ecotypes. *Can. J. Plant Sci.* 59: 911–917.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*. 9: 1055–1066. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055>
- Booth, D. T. and Bai, Y. 1999. Imbibition temperature affects on seedling

- vigor: In crops and shrubs. J. of Range Management. <https://doi.org/10.2307/4003783>
- Bradford, K. J. 1990. A water relations analysis of seed germination rates. Plant Physiol. 94: 840–849. <https://doi.org/10.1104/pp.94.2.840>
- Cláudio, A. D., Oliveira, O. A., Amaral, E. A. da S. and Davide, A. C. 2011. Improvement to the physical quality and imbibition pattern in seeds of candeia (*Eremanthus incanus* (Less.) Less.). Cerne. 17: 321–326.
- Duarte, E. R., Manguéon, V., Koppers, G., Rocha, P. y Niella, F. 2017. Tamaño y viabilidad de semillas: implicancias en la evolución y conservación de *Phaius tankervilleae* (Orchidaceae). Caldasia, 39: <https://doi.org/10.15446/caldasias.v39n2.62184>
- Gairola, S., Shabana, H. A., Mahmoud, T. and Santo, A. 2018. Effects of seed colour heterogeneity on germination behaviour of the desert plant *Lotononis platycarpa* (Fabaceae). Nordic J. of Bot. 36: <https://doi.org/10.1111/njb.01617>
- García, de los S. G. y Estrada, G. J. A. 1999. Caracterización de frijol de la variedad bayomex mediante descriptores agronómicos y análisis de imágenes de morfología de semillas. Rev. Fitotecnia Mexicana. 22: 63–74.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2010. Reglas del ISTA. Septiembre de 2010. Publicado en línea en: http://www.analisisdesemillas.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31
- Jamil, M., Ali, A., Ghafoor, A., Akbar, K. F., Napar, A. A., Huma Naveed, N. and Mujeeb-Kazi, A. A. 2017. Digital image analysis of seed shape influenced by heat stress in diverse bread wheat germplasm. Pak. J. Bot. 49: 1279–1284.
- Khalik, K. A. and Van der Maesen, L. J. G. 2002. Seed morphology of some

- tribes of Brassicaceae (implications for taxonomy and species identification for the flora of Egypt). *Blumea: J. of Plant Taxonomy and Plant Geography*. 47: 363–383.
- List, M. H. 2014. Caracterización agronómica, nutrimental y molecular de *Vicia faba* L. Montecillo, Texcoco. Edo de México: Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad - Genética.
- Long, R. L., Williams, K., Griffiths, E. M., Flematti, G. R., Merritt, D. J., Stevens, J. C. and Dixon, K. W. 2010. Prior hydration of *Brassica tournefortii* seeds reduces the stimulatory effect of karrikinolide on germination and increases seed sensitivity to abscisic acid. *Ann. of Bot.* 105: 1063–1070. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq061>
- Ma, Z., Bykova, N. V. and Igamberdiev, A. U. 2017. Cell signaling mechanisms and metabolic regulation of germination and dormancy in barley seeds. *Crop J.* 5: 459–477. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.08.007>
- Méndez, J. R. N., Merazo, J. F. P. y Montaña, N. J. M. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *Rev. Científica UDO Agrícola*. 8: 61–66.
- Murphy, J. B. and Noland, T. L. 1982. Temperature effects on seed imbibition and leakage mediated by viscosity and membranes. *Plant Physiol.* 69: 428–431. <https://doi.org/10.1104/pp.69.2.428>
- Mwami, B., Nguluu, S., Kimiti, J. M. and Kimatu, J. N. 2017. Effects of water imbibition of selected bean varieties on germination effects of water imbibition of selected bean varieties on germination.
- Nakayama, N. y Komatsu, S. 2008. Water uptake by seeds in yellow-seeds soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars with contrasting imbibition

- behaviors. *Plant Prod. Sci.* 11: 415–422.
<https://doi.org/10.1626/pps.11.415>
- Rahman, M. and McVetty, P. 2011. A review of *Brassica* seed color. *Canadian J. of Plant Sci.* 91: 437–446.
<https://doi.org/10.4141/cjps10124>
- Raya, P. J. C., Aguirre, M. C. L., Medina, O. J. G., Ramírez, P. J. G., Andrio, E. E., Castellanos, S. A. y Covarrubias, P. J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Rev. Mex. de Ciencias Agrí.* 3: 633–641.
- Robert, C., Noriega, A., Tocino, Á. and Cervantes, E. 2008. Morphological analysis of seed shape in *Arabidopsis thaliana* reveals altered polarity in mutants of the ethylene signaling pathway. *J. of Plant Physiol.* 165: 911–919. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.10.005>
- Royal Horticultural Society (RHS). 2018. The royal horticultural society color chart. The Royal Horticultural Society, London.
- Sandeep, V. V. and Durga, K. K. 2013. Seed image analysis: it's applications in seed science research. *Int. Res. J. of Agri. Sci.* 1: 30–36.
<https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.07.555709>
- Sauceda, A. C. P., Villaseñor, M. E. H., Lugo, G. A. G., Partida, R. L., González, H. V. y Reyes, O. A. 2017. Tamaño y número de granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. *Rev. Mex. de Ciencias Agrí.* 8: 517–529.
- Schneider, A. and Renault, P. 1997. Effects of coating on seed imbibition: I. Model estimates of water transport coefficient. *Crop Sci.* 37: 1841–1849.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700060030x>
- Smýkal, P., Nelson, M. N., Berger, J. D. and von Wettberg, E. J. B. 2018. The impact of genetic changes during crop domestication. *Agronomy.* 8: 1–22. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070119>

- Souza, M. L. and Fagundes, M. 2014. Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). American J. of Plant Sci. 2566–2573. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.517270>
- Tantawy, M. E., Khalifa, S. F., Hassan, S. A. and Al-Rabiai, G. T. 2004. Seed exomorphic characters of some *Brassicaceae* (LM and SEM Study). International J. of Agric. and Biol. 6: 821–830.
- Tekin, M., Yilmaz, G. and Martin, E. 2013. Morphological, anatomical and palynological studies on endemic *Matthiola anchoniifolia* Hub. Mor. (Brassicaceae). Notulae Scientia Biologicae. 5: 163–168.
- Yamauchi, Y., Ogawa, M., Kuwahara, A., Hanada, A., Kamiya, Y. and Yamaguchi, S. 2004. Activation of gibberellin biosynthesis and response pathways by low temperature during imbibition of *Arabidopsis thaliana* seeds. The Plant Cell. 16: 367–378.
<https://doi.org/10.1105/tpc.018143>
- Yu-qin, M. and Song-quan, S. 2008. Early morphological and physiological events occurring during germination of maize seeds. Agricultural Sci. in China. 7: 950–957. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60134-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60134-0)
- Zayas, I., Pomeranz, Y. and Lai, F. 1985. Discrimination between Arthur and Arkan wheats by image analysis. Cereal Chem. 62: 478-480.
- Zhang, X. K., Chen, J., Chen, L., Wang, H. Z. and Li, J. N. 2008. Imbibition behavior and flooding tolerance of rapeseed seed (*Brassica napus* L.) with different testa color. Genetic Resources and Crop Evolution. 55: 1175–1184. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9318-x>

CAPÍTULO II. RADIOSENSIBILIDAD EN SEMILLAS DE TRES GENOTIPO DE ALHELÍ (*Matthiola incana* L.) SOMETIDAS A RADIACIÓN GAMMA DE ⁶⁰COBALTO

RESUMEN

En México la producción de flor de corte de alhelí (*M. incana*) representa una actividad promisoriosa, de ello surge la necesidad de la creación de un programa de mejoramiento que fortalezca al sector. El objetivo del presente estudio fue evaluar la radiosensibilidad en semillas de los genotipos de alhelí Nieve, Uva y Rosita expuestas a dosis de 50, 70, 90, 110, 130 y 150 Gy con gammas de ⁶⁰Co. El genotipo Rosita mostró un efecto significativo al mostrarse poco afectado por la radiación en las variables aquí estudiadas, mientras que genotipos como Nieve y Uva mostraron un estímulo que aumento la germinación en dosis de 50 Gy, dosis superiores promovieron una tendencia deletérea. Respecto a la velocidad de germinación, la dosis de 50 Gy en Nieve triplicó el tiempo requerido para completar la germinación, observándose un efecto contrario en Uva y Rosita. En la correlación de Pearson las variables asociadas significativamente indican que la presencia de plántulas anormales se ve estimulada al incrementar la dosis de radiación. Por lo tanto, se observó que la radiación en dosis bajas influye significativamente en el porcentaje de germinación, mientras que a dosis mayores de 50 Gy incrementan la presencia de plántulas anormales, donde resultó ser más sensible el genotipo Rosita.

Palabras Clave: flor de corte, semillas, dosis letal media, rayos gamma.

CHAPTER IV. RADIOSENSITIVITY IN SEED OF THREE GENOTYPES OF STOCK FLOWER (*Matthiola incana* L.) SUBJECT TO RADIATION GAMMA OF ⁶⁰COBALT

ABSTRACT

In México the production of cut flowers of stock (*M. incana*) represents promising activity. Furthermore there is need for the creation of a breeding program to strengthen the sector. This study was performed aiming to elucidate the radiosensitivity of seeds of genotypes of stock flower Nieve, Uva and Rosita, exposed to doses of 50, 70, 90, 110, 130 and 150 Gy of ⁶⁰Co gamma rays. Rosita genotype exhibited low radiosensitivity, while genotypes Nieve and Uva showed stimulus that increased the germination at 50 Gy, dose beyond 50 Gy exhibited deleterious effect. Concerning germination speed, at 50 Gy in Nieve the time to complete germination was reduced opposite effect was observed in Uva and Rosita. Regarding to Pearson correlation, variables significantly associated indicate that the presence of seedling abnormal is stimulated as radiation dose increases. It is concluded that the radiation significantly influences germination percentage, increasing apparition of abnormal seedling, being Rosita genotype more sensitive to radiation.

Keywords: Flower cut, seeds, gamma rays, germination.

2.1 INTRODUCCIÓN

El alhelí (*Matthiola incana* L.) pertenece a la familia de las crucíferas (Hisamatsu y Koshioka, 2001), y gran parte de su diversidad se encuentra dispersa en Europa, África y Asia. En estas regiones se distribuyen 50 especies de los doce taxos conocidos (Martin *et al.*, 2016). La flor de alhelí esta considera dentro de las diez flores de corte con mayor interés ornamental (Irani *et al.*, 2017), por sus cualidades como el agradable aroma que liberan las flores (Rasool *et al.*, 2013) y las propiedades nutraceúticas como potencial que poseen las semillas en tratamientos a la reducción de colesterol y triglicéridos (Yaniv *et al.*, 1999).

En México la producción de alhelí representa una actividad de interés por la comunidad florista, debido a los múltiples usos que ofrece y las utilidades económicas que genera. Sin embargo, su crecimiento comercial se encuentra limitado por la falta de innovación en temas de manejo agronómico, control fitosanitario, practicas de postcosecha y nula disponibilidad de materiales mejorados, factores que limitan el interés de explotación comercial (Kareem *et al.*, 2015).

Para iniciar un programa de mejoramiento genético se requiere de una amplia variabilidad (Rozman, 2014), misma que se considera en germoplasma, que reúnan atributos que interesen al mejorador, productor y consumidor con el objetivo de identificar germoplasma élite. Al no ser

México centro de origen de esta especie, es necesario emplear herramientas que promuevan la ampliación de variabilidad en las limitadas colecciones de esta especie, a fin de integrar germoplasma a esquemas de fitomejoramiento (Victor *et al.*, 2001; Oladosu *et al.*, 2016). En el contexto anterior, la mutagénesis resulta una herramienta adecuada para generar cambios, que por métodos tradicionales sería difícil obtener o inclusive inducir aquellos que no se dispongan de forma natural (Ari *et al.*, 2015).

La radiación gamma de ⁶⁰Cobalto (⁶⁰Co) se ha convertido en la técnica más utilizada en el fitomejoramiento por mutagenesis, por la cantidad de resultados satisfactorios que se han obtenido en su aplicación. Se han reportado casos exitosos en especies ornamentales como alstroemeria (*Alstroemeria spp.*)(Aros, 2015), antorcha (*Etilingera elatior*) (Yunus *et al.*, 2013), clavel (*Dianthus caryophyllus*) (Simard *et al.*, 1992; Jerzy y Zalewska, 2000), crisantemo (*D. grandiflorum*) (Victor *et al.*, 2001; Soliman *et al.*, 2014), dendrobium (*Dendrobium spp.*) (Sheela *et al.*, 2008), nube (*Gypsophila paniculata*)(Barakat y el-Sammak, 2011), gerbera (*Gerbera jamesonii*)(Hasbullah *et al.*, 2012; Ghani *et al.*, 2013), girasol (*Helianthus annuus*) (Hussain *et al.*, 2017), gladiolo (*Gladiolus sp.*) (Singh, 2000; Dogra y Dhatt, 2017), heliconia (*Heliconia psittacorum*)(Urrea y Ceballos, 2005), lisianthus (*Lisianthus grandiflorum*)(Dahab *et al.*, 2017), nardo (*Polianthes tuberosa*)(Estrada *et al.*, 2011), nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) (Canulku *et al.*, 2012), orquídeas (Hernández *et al.*, 2017), petunia (*Petunia hybrida*) (Berenschot *et al.*, 2008), rosal (*R. hybrida*) (Bala y Singh, 2015),

tigridias (*Trigridia pavonea*)(Díaz *et al.*, 2003), tulipán (*Tulipa spp.*) (Matsubara, 1973) y zinia (*Zinia spp.*) (Pallavi *et al.*, 2017), en los cuales se han obtenido colores variegados, cambios en los hábitos de crecimiento, modificaciones en la morfología (e.g. porte erguido o porte ramificado) y para ciertos casos logrado la estimulación en procesos metabólicos favorables a la planta (Wi *et al.*, 2007).

La frecuencia con que se presenten cambios en los organismos expuestos depende de las condiciones endógenas y exógenas del tejido tratado (Castillo *et al.*, 2015). La exposición de semilla a mutágenos de radiación ionizante ha mostrado confiabilidad para inducir variabilidad (Canul-ku *et al.*, 2012). Sin embargo, previo a tratamiento a gran escala, debe de hacerse un estudio de radiosensibilidad para cada genotipo (Jan *et al.*, 2011).

La radiosensibilidad en semillas de alhelí se desconoce, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la sensibilidad sobre variables asociadas con la germinación, como respuesta al efecto de siete dosis de ^{60}Co en tres genotipos de alhelí. La hipótesis de trabajo es que la exposición a ^{60}Co induce variabilidad en la germinación y variables asociadas en alhelí.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en noviembre del año 2017, en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus

Montecillo (19° 27' 46" N y 98° 54' 17" W) (COLPOS), estado de México. El tratamiento de las semillas se realizó con el equipo de radiación autoblandado transelektro modelo LGI-01 en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Toluca, Edo. de México.

4.2.1 Material vegetal

Las semillas de los genotipos “Nieve”, “Rosita” y “Uva” de inflorescencia color blanco, rosa y morado respectivamente. El ciclo de recolecta de la semilla fue en verano–otoño 2017. Las semillas fueron seleccionadas por peso en una máquina sopladora de viento, misma que permitió homogenizar el material para dicho estudio, con muestras de mil semillas de 0.220 ± 0.005 g por tratamiento.

4.2.2 Tratamientos y diseño del experimento

Por genotipo se pesaron 28 muestras de 10 g de semilla, las cuales se conservaron por separado en sobres de papel (8.5×16 cm). En cada dosis de exposición al mutágeno se expusieron cuatro sobres por genotipo (repeticiones) en el Transelektro. Las dosis suministradas fueron de 50, 70, 90, 110, 130 y 150 Gy. Se formaron 21 tratamientos, incluyendo el control (sin exposición).

Después de la radiación, en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados, se establecieron pruebas de germinación bajo las normas que recomienda la International Seed Testing Association (ISTA, 2015). El experimento se desarrolló con un diseño completamente al azar con cuatro

repeticiones por tratamiento, cada repetición se integró de 100 semillas distribuidas en un disco de papel (Sanitas®) humedecido con agua destilada sobre la base de cada caja Petri. Después de la siembra, las cajas se colocaron en una cámara de ambiente controlado con flujo ligero de aire por 24 h con luz fluorescente y una temperatura constante a 22 ± 2 °C.

4.2.3 Variables de estudio

Después de iniciada la prueba de germinación, se realizaron conteos cada tercer día, hasta transcurridas cuatro semanas de establecido el experimento. Las variables registradas fueron: porcentaje de germinación (%G) (Anjum y Bajwa, 2005), número de plántulas anormales (PA) (Pérez *et al.*, 2015), número de plántulas albinas (PAL) (de clorosis generalizada) y número de semillas no germinadas (NG) (Pérez *et al.*, 2015). Además, se integraron variables como germinación al 50 % (G50) (Anjum y Bajwa, 2005) e índice de la velocidad de germinación (IVG) (Chiapuso *et al.*, 1997).

2.2.4 Análisis estadístico

El análisis del experimento se realizó con el software estadístico SAS Ver. 9.4 (SAS, 2013). Las variables respuesta se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se hizo un análisis de varianza (ANOVA), y de aquellas que mostraron diferencias significativas ($P = 0.0001$), se compararon sus medias por Tukey ($P \leq 0.05$). Se empleó la correlación de Pearson ($p \leq 0.05$) en las variables con la finalidad de obtener asociaciones a los efectos de radiación.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza indicó que los genotipos fueron estadísticamente semejantes a la respuesta de porcentaje de plántulas albinas y semillas no germinadas, con diferencias en el porcentaje de germinación, plántulas anormales, germinación al 50 % en índice de la velocidad de germinación, resultados que sugieren sensibilidad a las dosis de radiación aplicadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables estudiadas en semillas de tres genotipos de alhelí sometidos a radiación gamma de ^{60}Co .

Variable	CM†			CV ϕ	R ²	Significancia ($p = 0.001$)
	Media	Genotipo	Error			
Porcentaje de germinación	70.25	24028.5	281.7	23.89	0.50	**
Plántulas anormales	6.75	1028.57	25.62	74.99	0.32	**
Plántulas albinas	1.86	9.44	4.51	113.6	0.02	ns
Semillas no germinadas	21.13	1727.16	381.1	92.39	0.05	ns
Germinación al 50%	8.07	604.57	2.426	19.30	0.75	**
Índice de velocidad de germinación	8.38	2578.84	37.59	73.16	0.45	**

†: cuadrados medios; ϕ : coeficiente de variación; **: significancias al $p \leq 0.05$; ns: no significativo al $p \leq 0.05$.

2.3.1 Efecto de la radiación en el porcentaje de germinación

El análisis de varianza muestra que los genotipos Nieve y Uva fueron superiores en germinación a cualquier dosis, en contraste a Rosita. La germinación en los genotipos Nieve y Uva indica fluctuaron entre el 70 y 80 %, mientras que en Rosita fue menor del 50 %. Esta respuesta puede deberse a la posible cantidad de reservas que en ella se dispongan, la permeabilidad de la testa y embrión durante la imbibición (Nakayama y Komatsu, 2008), conocimientos que en alhelí no han sido abordados ampliamente.

En los tres genotipos, la dosis de 50 Gy tuvo efecto en forma positiva a la germinación, debido a que se obtuvo un incremento del 15 % respecto a su control (Figura 1). Similares resultados han sido reportados en semillas de *Terminalia* (*Terminalia arjuna*) (Akshatha *et al.*, 2013), jitomate (*Lycopersicon esculentum*) (Rozman, 2014) y *arabidopsis* (Zhang *et al.*, 2016).

Basado en previas investigaciones, la estimulación se ha atribuido a la activación del RNA (Ramchander *et al.*, 2015), por el aumento de radicales libres en la semilla (Esnault *et al.*, 2010), precursores del aumento en la permeabilidad en la testa y embrión, mismos que facilitan la entrada de agua e intercambio de gases, acelerando la división celular por la activación de hormonas (auxinas) (González y Nakayama, 2015, Gon *et al.*, 2017) y

enzimas (e.g. peroxidasas, catalasas, oxidadasas, estererasas y el polifenol) precursoras en la morfogénesis de la mitocondria y cloroplastos (Chen *et al.*, 2005). Es posible que condiciones endógenas y exógenas de estress sean prontamente superadas y den apertura al incremento de germinación (Palit, 1994).

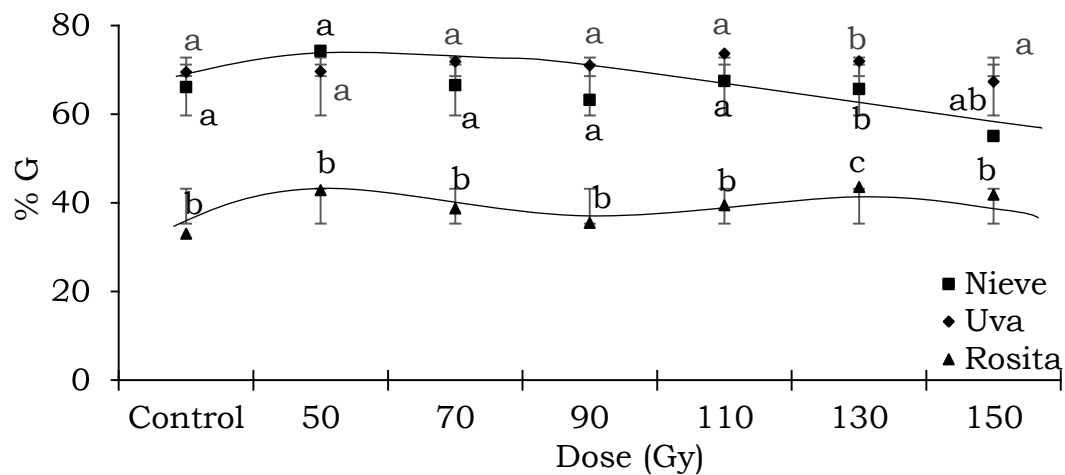


Figura 1. Comparación múltiple de medias (Tukey ($P \leq 0.05$)) del efecto de la radiación sobre el porcentaje de germinación (%G) en los genotipos Nieve, Rosita y Uva.

Respecto a la tendencia deletérea observada en dosis mayores a los 50 Gy en Nieve y Uva, se atribuye en respuesta al posible daño en el DNA en las funciones vitales de las células (Álvarez *et al.*, 2017), como una destrucción endógena de auxinas y del contenido del ácido ascórbico, ocasionando disturbios a nivel bioquímico y fisiológico (Marcu *et al.*, 2013).

En Rosita a 130 Gy se observó que la germinación incremento en un 20 % respecto a su control. De lo anterior se infiere que para algunas especies se

expresen eficientemente mecanismos de protección, mejorando la síntesis de aminoácidos, glicación y superóxido dismutasa mismas que en acción conjunta eliminan la presencia de radicales libres (Jan *et al.*, 2011).

2.3.2 Incidencia de plántulas anormales

Poco se ha documentado sobre el efecto que ejerce la radiación en la presencia de plántulas anormales. Efecto de ^{60}Co en la incidencia de plántulas anormales en semillas de alhelí se muestran en la Figura 2. En tratamiento control para los genotipos Uva y Nieve no mostraron diferencias significativas. Sin embargo, en Rosita de forma natural el 40 % de las plántulas germinadas mostraron defectos en la morfología de sus plántulas.

En términos del efecto de la radiación, se obtuvo que Nieve fue muy susceptible en las dosis de 70, 90 y 150 Gy, mostrando alto índice de plántulas anormales. A este comportamiento Haddad *et al.* (2015) mencionan que cada efecto dependerá de las condiciones endógenas de la semilla, mismas que arrojarán distinta respuesta a la interacción con el ambiente.

Hernández *et al.* (2017) han reportado que a dosis altas la radiación gamma puede generar daños a nivel del ADN, mismas que en ocasiones los daños son irreparables. Estos daños tienen punto de origen en la meiosis, donde en la anafase se sufre la fractura de la estructura de los cromosomas, que a

nivel morfológico se expresan como anomalías morfológicas durante el desarrollo de estructuras y demeritan el crecimiento de la planta (Haddad *et al.*, 2015).

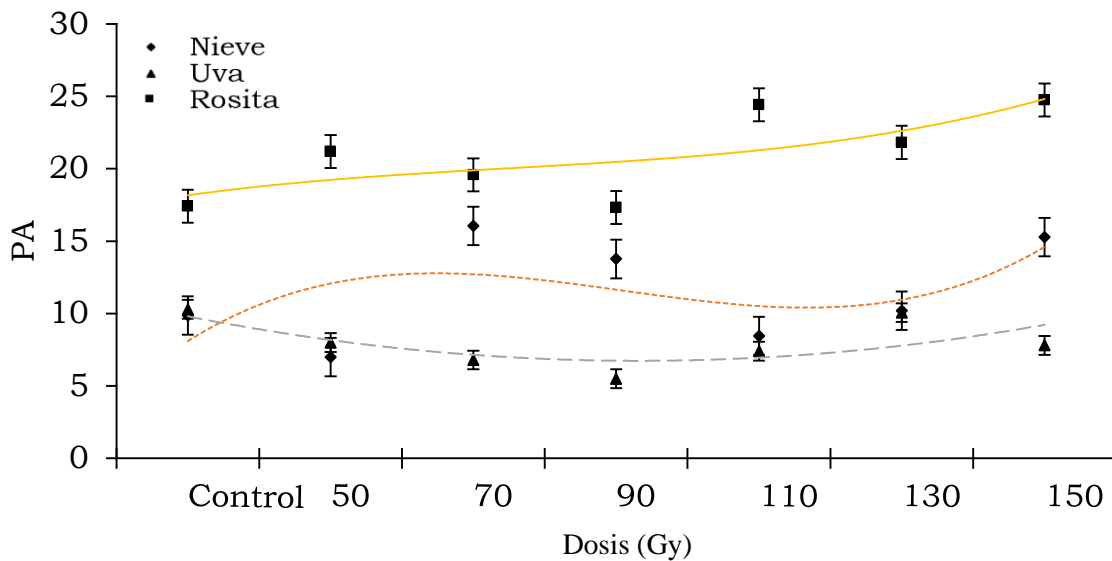


Figura 2. Comparación múltiple de medias (Tukey ($P \leq 0.05$)) que el efecto de radiación provoca en la incidencia de plántulas anormales (PA).

La respuesta observada en Uva mostró de una disminución de plántulas anormales, tal efecto puede corresponder a que sus mecanismos de corrección fueron prontamente activados (Jan *et al.*, 2011), y en consecuencia aquellas condiciones que desfavorecían naturalmente el metabolismo de la semilla fueran corregidas.

2.3.3 Germinación al 50% (G₅₀) en semillas irradiadas

Un estimador del vigor inicial es la capacidad de germinar un 50 % la muestra de semilla puesta en imbibición. La velocidad con que germine una semilla representa la uniformidad del cultivo en campo, misma que brinda sincronización al desarrollo de cultivo. La comparación de medias de lo obtenido en la germinación al 50 % indicó que hubo diferencias estadísticas entre genotipos a las dosis de radiación (Cuadro 2). Cabe mencionar que Rosita muestra limitantes de carácter natural (baja germinación sin radiación), mismas hacen que, transcurridos 12 días después de establecida la prueba solo exprese el 50 % de germinación, a diferencia de Nieve (5 días) y Uva (6 días).

El efecto de ⁶⁰Co a 150 Gy en Nieve fue negativo, ya que tardo 2.25 días más para obtener el 50 % de germinación. Semejante respuesta expresó Uva, quien después de los 70 Gy la necesidad en tiempo fue gradualmente mayor en lograr la media de la muestra en observación. En semillas de *Lysimachia minoricensis* el tiempo fue similar (7 días) en lograr el 50 % de germinación (Rossello y Mayol, 2002).

Aseveraciones hechas por otros autores infieren que la radiación provoca daños en los mecanismos de respiración o fracturas en las secuencias de ADN y de ello que los mecanismos de reparación tomen mayor tiempo en reparar el daño (Esnault *et al.*, 2018).

Respecto a lo encontrado en Rosita, se observó que a dosis de 50 y 70 Gy reduce 36 h en lograr el 50% de semillas germinadas, mientras que en 90, 110, 130 y 150 Gy la ganancia en tiempo es mínima, pero respecto al testigo se infiere que la radiación estimula la germinación

Así mismo, se ha documentado que por consecuencia de la exposición a radiación ionizante, endógenamente se forman reacciones con el agua, de las cuales dan origen a sustancias oxidativas (e.g. H₂, HO*, H₂O₂, H₃O* y OH) que afectan las rutas metabólicas e impidan de una pronta emergencia de la radícula (Smith *et al.*, 2012; Caplin y Willey, 2018).

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias para días al 50 % de germinación (G₅₀) para cada genotipo evaluado.

Genotipo	Dosis (Gy)						
	Control	50	70	90	110	130	150
Nieve	5 b	4.2 b	5 b	6 b	5.5 b	6.2 c	7.2 b
Uva	5.7 b	6 b	5.7 b	7 b	6.2 b	7.2 b	7 b
Rosita	12.7 a	11.5 a	11.5 a	12.2 a	13 a	12 a	12.2 a
DMS*	1.231	2.054	1.832	2.527	0.87	0.806	1.543

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$).

2.3.4 Índice de la velocidad de germinación (IVG)

En el Cuadro 3 se muestra el índice de velocidad de germinación correspondiente a cada genotipo de los seis niveles de radiación evaluados.

En cada radiación el genotipo Nieve obtuvo los mejores índices respecto a

Uva y aún más en contraste a Rosita. La radiación a 50 Gy incremento los índices de germinación en los tres genotipos evaluados, siendo Nieve el genotipo más sobresaliente respecto a su control por casi duplicar su valor. En Nieve y Uva, dosis de 70, 90, 110, 130 y 150 Gy afectan el índice de germinación, mientras que la respuesta de Rosita fue al aumento del valor del índice respecto al aumento de las dosis a que fue expuesta la semilla, por lo que 50 Gy fue el mejor valor obtenido respecto a su control.

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias en la prueba de germinación de tres genotipos de alhelí para el índice de velocidad de germinación (IVG).

Genotipo	Dosis (Gy)						
	Control	50	70	90	110	130	150
Nieve	15.64 a	28.24 a	12.13 a	7.36 a	10 a	12.09 a	11.39 a
Uva	11.20 ab	10.37 b	10.41 ab	5.27 a	5.95 a	0.08 ab	5.92 b
Rosita	1.36 b	2.21 b	1.40 b	1.95 a	1.56 a	1.72 b	1.64 b
DMS*	12.07	12.11	10.57	8.572	10.124	9.197	7.5

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$).

2.3.5 Correlación por genotipo

La correlación de Pearson muestra asociación positiva con radiación y G_{50} con un coeficiente del 0.767 en el genotipo Nieve, lo que sugiere que el incremento de la radiación prolonga el tiempo en alcanzar 50 % de semillas germinadas (Cuadro 4). El genotipo Rosita obtuvo el mayor número de correlaciones en las variables estudiadas; entre ellas fue radiación vs plántulas anormales (0.55), de esta correlación se infiere que la radiación

estimula la presencia de plántulas anormales; respuesta diferente a los otros dos genotipos. El resultado muestra la importancia de especificar dosis por especie.

Cuadro 4. Matriz general de los tres genotipos en los valores obtenidos de la correlación de Pearson, ($P \leq 0.001$), para las variables respuestas estudiadas por el efecto de exposición a ^{60}Co .

Variable	Nieve				
	Radi.	% G	PA	G ₅₀	IVG
Radi.	1	-0.329	0.144	0.767**	-0.125
% G		1	-0.261	-0.581**	-0.095
PA			1	0.243	0.106
G ₅₀				1	-0.070
IVG					1
Variable	Uva				
	Radi.	% G	PA	G ₅₀	IVG
Radi.	1	0.009	0.044	0.533**	-0.463
% G		1	-0.394**	-0.079	-0.300
PA			1	0.173	0.205
G ₅₀				1	-0.289
IVG					1
Variable	Rosita				
	Radi.	% G	PA	G ₅₀	IVG
Radi.	1	-0.200	0.553**	0.400**	-0.388**
% G		1	-0.387**	-0.889**	0.895**
PA			1	0.405**	-0.558
G ₅₀				1	-0.916**
IVG					1

% G: porcentaje de germinación; PA: plántulas anormales; PAL: plántulas albinas; NG: semillas no germinadas; G₅₀: 50 % de germinación; IVG: índice de velocidad de germinación; **, significancia ($p \leq 0.001$).

2.4 CONCLUSIONES

Los genotipos Nieve y Rosita mostraron mayor sensibilidad a la radiación gamma de ^{60}Co , en comparación con Uva. La dosis de 50 Gy mejoró la germinación, estimulando la uniformidad al 50 % de germinación de plántulas en los tres genotipos. En contraste, dosis de 110, 130 y 150 Gy para los tres genotipos dañan la germinación, velocidad de germinación y afectan el índice de germinación.

Respecto a variabilidad, Nieve mostro ser altamente influenciado por la radiación en el incremento de plántulas deformes, mientras que Uva muestra menor sensibilidad y menores cambios metabólicos en las variables aquí estudiadas. Por lo tanto, la radiosensibilidad de los genotipos bajo estudio fue distinta a las diferentes dosis de radiación.

2.5 LITERATURA CITADA

- Akshatha, K. R. C., Somashekarappa, H. M. and Souframanien, J. (2013). Effect of gamma irradiation on germination, growth, and biochemical parameters of *Terminalia arjuna* Roxb. Radiation Protection and Environmental, 36: 38. <https://doi.org/10.4103/0972-0464.121826>
- Álvarez, A. H., Corrales, R. L., Morales, C. R. N., Avendaño, C. H. A. y Villareal, F. G. (2017). Dosis óptima de irradiación gamma con Co^{60} para inducción de mutagénesis en pastos. Nova Scientia, 19: 65-82. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2033/203353519005.pdf>
- Ari, E., Djapo, H., Mutlu, N., Gurbuz, E. and Karaguzel, O. (2015). Creation

of variation through gamma irradiation and polyploidization in *Vitex agnus-castus* L. *Scientia Horticulturae*. 195: 74–81.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.039>

Aros, D. (2015). Gamma irradiation on *Alstroemeria aurea* G. *in vitro* rhizomes: An approach to the appropriate dosage for breeding purposes gamma. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44: 191–197. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3828/382837650014.pdf>

Anjum, T. and Bajwa, R. (2005). Importance of germinación, indices in interpretation of allelochemical effects. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3:417-419. Disponible en: http://www.fspublishers.org/published_papers/72092_..pdf

Bala, M. and Singh, K. P. (2015). *In vitro* mutagenesis in rose (*Rosa hybrida* L.) cv. Raktima for novel traits. *Indian Journal of Biotechnology*, 14: 525–531. Disponible en: <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/34003/1/IJBT%2014%284%29%20525-531.pdf>

Barakat, M. N. and El-sammak, H. (2011). *In vitro* mutagenesis, plant regeneration and characterization of mutants via RAPD analysis in Baby's breath *Gypsophila paniculata* L. *Australian Journal of Crop Science*, 5: 214–222. Disponible en: http://www.cropj.com/barakat_5_2_2011_214_222.pdf

Berenschot, A. S., Zucchi, M. I., Tulmann-neto, A. and Quecini, V. (2008). Mutagenesis *in Petunia x hybrida* Vilm . and isolation of a novel morphological mutant. *Brazilian Journal. of Plant Physiology*, 20: 95–103. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000200002>

Bijay-Singh. (2015). Foreword. *Crop Production and Global Environmental Issues*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23162-4>

Canul-ku, J., García, F. P., Campos, E. B., Barrios, E. J. G., de La Cruz

- Torres, E., García, J. M. A., Osuna, F. de J. y Canizalez, R. S. R. (2012). Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 1495–1507. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800002
- Caplin, N. and Willey, N. (2018). Ionizing radiation, higher plants, and radioprotection: from acute high doses to chronic low doses. *Frontiers in Plant Science*, 9(June), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00847>
- Castillo, C. R. M., de la Cruz, E. T., Carrillo, G. C., y Avendaño, C. H. A. (2015). Inducción de mutaciones en crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) usando radiación gamma y etil metano sulfonato. *Agroproductividad*, 8: 60–64. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=102135895&site=ehost-live>
- Chen, Y. P., Liu, Y. J., Wang, X. L., Ren, Z. Y., & Yue, M. (2005). Effect of microwave and He-Ne laser on enzyme activity and biophoton emission of *Isatis indigotica* Fort. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47(7), 849–855. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00107.x>
- Chiapuso, G., Sanchez, A., Reigosa, M., Gonzalez, L. and Pellissier, F. (1997). Do germination indices adequately reflect allelochemical effects on the germination process?. *Journal of Chemical Ecology*, 23:2445-53. Disponible en: <http://agris.fao.org/agrisearch/search.do?recordID=US1997083178>
- Dahab, A. M. A., Heikal, A. A. M., Taha, L. S., Gabr, A. M. M. and Metwally, S. A. (2017). *In vitro* mutagenesis induction in *Eustoma grandiflorum* plant using gamma radiation. *Journal of Environment Science. and Technology*, 10: 175–185. <https://doi.org/10.3923/jest.2017.175.185>

- Díaz, E. L., Pichardo, J. R., de la Cruz, E. T., Norman, T. M., Sandoval, F. R. y Vázquez, L. G. (2003). Variabilidad inducida en *Tigridia pavonia* (L.f.) D.C. var. Sandra por irradiación de bulbos con rayos gamma de ^{60}Co . Rev. Chapingo Serie Hort., 9: 235–237. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.06.037>
- Dogra, N. and Dhatt, K. K. (2017). *In Vitro* production of cormels in *Gladiolus hybridus* through gamma rays. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6: 1308–1318. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.154>
- Esnault, M., Legue, F. and Chenal, C. (2010). Ionizing radiation : Advances in plant response. Environmental and Experimental Botany, 68:231–237. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.01.007>
- Estrada, J. A. B., Pedraza, M. E. S., de La Cruz, E. T., Martínez, A. P., Sáenz, C. R., y Morales, J. L. G. (2011). Efecto de rayos gamma $^{60}\text{Cobalto}$ en nardo (*Polianthes tuberosa* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3: 445–458. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263122300004.pdf>
- Ghani, M., Kumar, S. and Thakur, M. (2013). Induction of novel variants through physical and chemical mutagenesis in *Barbeton daisy* (*Gerbera jamesonii* Hook.). Journal of Horticulture Science and Biotechnology, 88: 585–590. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11513010>
- Gon, S., Yeoup, B., Kim, J., Kim, J., Baek, M., Lee, J. and Soo, Y. (2007). Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. Micron, 38: 553–564. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2006.11.002>
- González, M. y Nakayama, H. (2015). Radioestimulación de la germinación en *Stevia rebaudiana* cultivar KH-IAN VC-142 (EIRETÉ), mediante el empleo de rayos gamma ^{60}CO . Cultivos Tropicales, 36: 117–119.

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/FullTextPDF/2017/20173226497.pdf>

Haddad, C., dos Santos, V., Silva, L., Arthur, V. and Silva, R. (2015). Mutagenic potential of lettuce grown from irradiated seeds. *Scientia Horticulturae*. pp: 27-30.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.011>

Hasbullah, N. A., Taha, R. M., Saleh, A. and Mahmad, N. 2012. Irradiation effect on *in vitro* organogenesis, callus growth and plantlet development of *Gerbera jamesonii*. *Horticultura Brasileira*. 30: 252–257. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v30n2/v30n2a12.pdf>

Hernández, S. M., Pedraza, M. E. S., López, P. A., de la Cruz, E. T., Fernández, S. P. P., Martínez, A. P. y Martínez, M. T. 2017. Determinación de la DL₅₀ y GR₅₀ con rayos gamma (⁶⁰Co) en protocormos de *Laelia autumnalis in vitro*. *Agrociencia*. 51: 507–524. Disponible en: <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2017/jul-ago/art-3.pdf>

Hernández, S. M., Pedraza, M. E. S., López, P. A., De La Cruz, E. T., Martínez, A. P., Fernández, S. P. P., y Chávez, A. T. B. (2017). Estimulación de la germinación y desarrollo *in vitro* de *Laelia autumnalis* con rayos gamma. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40: 271–283. Disponible en: <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/40-3/4r.pdf>

Hisamatsu, T. and Koshioka, M. (2001). Regulation of flowering in stock (*Matthiola incana* L. R, Br.) by manipulation of gibberellin biosynthesis. *J.A.R.Q.*, 34: 263–269. Diponible en: https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/jarq/35-04-07_1.pdf

Hussain, F., Iqbal, M., Zahir, S., Qamar, M. A., Bokhari, T. H., Abbas, M.

- and Younus, M. (2017). Sunflower germination and growth behavior under various gamma radiation absorbed doses. *Acta Ecologica Sinica.*, 37: 48–52. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.09.009>
- Irani, S. F. and Arab, M. (2017). Meiotic behaviour and morpho-phenological variation in cut stock (*Matthiola incana* L.) flower. *Folia Horticulturae.* 1: 51–61. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0006>
- International Seed Testing Association (ISTA) (1996). Rules, Seed Science and Technology. En ISTA, International seed testing association (pp: 335). Zurich, Suiza. Disponible en: HTTP://www.analisisdesemillas.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31
- Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. O. and Mahmooduzzafar. (2011). Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20(1), 17–39. <https://doi.org/10.1139/a11-021>
- Jerzy, M. and Zalewska, M. (2000). Effect of gamma rays on *in vitro* adventitious bud production of pot carnation (*Dianthus gratianopolitanus* Vill.). *The Plant Cell.* 6: 49–52.
- Kareem, A., Raza, S., Manan, A., Saeed, S. and Rehman, S. U. (2015). Growth and performance of stock (*Matthiola incana* L.) affected by different crop residues. *American. Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science*, 15: 349–352. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2015.15.3.12545>
- Lokesha, R., Vasudeva, R., Shashidhar, H. E. and Yellappa, R. A. N. (1992). Radiosensitivity of *Bambusa arundinacea* to gamma rays. *Journal of Tropical Forest Science*, 6: 444–450. Disponible en: <https://www.frim.gov.my/v1/JTFSONline/jtfs/v6n4/444-450.pdf>
- Marcu, D., Damian, G., Cosma, C. and Cristea, V. (2013). Gamma radiation

- effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *Journal of Biological Physics*, 39: 625–634. <https://doi.org/10.1007/s10867-013-9322-z>
- Martin, E., Ünal, M., Doğan, B., Altınordu, F., Sefalı, A. and Kaya, A. (2016). Karyotype analyses of the genus *Matthiola* (*Brassicaceae*) in Turkey. *Cytologia*, 81: 53–60. <https://doi.org/10.1508/cytologia.81.53>
- Matsubara, H. (1973). Morphological investigations on the tulip plants irradiated by gamma rays. I effects of the time for irradiation. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 43: 430–442. <https://doi.org/10.2503/jjshs.43.430>
- Nakayama, N. y Komatsu, S. (2008). Water uptake by seeds in yellow-seeded Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars with contrasting imbibition behaviors. *Plant Production Science*, 11: 415–422. <https://doi.org/10.1626/pps.11.415>
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A. and Usman, M. (2016). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: A review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 30: 1–16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>
- Pallavi, B., Nivas, S. K., Ganapathi, T. R. and Hegde, S. (2017). Gamma rays induced variations in seed germination, growth and phenotypic characteristics of *Zinnia elegans* var. Dreamland. *Advances in Horticulture Science*, 31: 267–273. <https://doi.org/10.13128/ahs-20289>
- Pérez, J. G. (2015). Energía de baja intensidad aplicada a semillas de amaranto (*Amaranthus spp.*) y su efecto en germinación y vigor inicial. Tlaxcala: Tesis de Licenciatura para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala.

- Pérez, R., Mejía, C., Hernández, L. y Zamora, D. (2015). Ausencia de latencia de genotipos mexicanos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) para malta. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38:249-255. Disponible en:
<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/38-3/2a.pdf>
- Ramchander, S., Ushakumari, R. and Arumugam, M. P. (2015). Lethal dose fixation and sensitivity of rice varieties to gamma radiation. *Indian Journal of Agriculture Research*, 49: 24–31.
<https://doi.org/10.5958/0976-058X.2015.00003.7>
- Rasool, N., Afzal, S., Riaz, M., Rashid, U., Rizwan, K., Zubair, M. and Shahid, M. (2013). Evaluation of antioxidant activity, cytotoxic studies and GC-MS profiling of *Matthiola incana* (Stock flower). *Legume Research*. 36: 21–32. Disponible en:
<http://www.ischolar.in/index.php/LR/article/view/41346>
- Rossello, J. and Mayol, M. (2002). Seed germination and reproductive features of *Lysimachia minoricensis* (Primulaceae), a Wild extinct plant. *Annals of Botany*. 89:559-562. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf083>
- Rozman, L. (2014). The effect of gamma radiation on seed germination of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*. 103: 307–311.
<https://doi.org/10.14720/aas.2014.103.2.15>
- SAS Intitute. (2013). Base SAS 9.4 Procedures guide: statical procedures, second edition. Cary, North Carolina, USA.: SAS. Disponible en:
<https://support.sas.com/en/support-home.html>
- Sheela, V. L., Anita, S., Sarada, S. and Rajmohan, K. (2008). *In vitro* mutagenesis in *Dendribium* cv. Sonia. In: International Symposium on Induced Mutations in Plants. pp: 118. Disponible en:
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/113/39113982.pdf?r=1&r=1
- Simard, M. H., Michaux, N. F. and Silvy, A. (1992). Variants of carnation

- (*Dianthus caryophyllus* L.) obtained by organogenesis from irradiated petals. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 29: 37–42. <https://doi.org/10.1007/BF00036144>
- Singh, N. P. (2000). *In vivo* and *in vitro* mutagenesis studies in gladiolus. Disponible en: <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810008119>
- Soliman, T. M. A., Lv, S., Yang, H., Hong, B. and Zhao, L. (2014). Isolation of flower color and shape mutations by gamma radiation of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. Youka. *Euphytica*. 199: 317–324. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1127-z>
- Smith, J. T., Willey, N. J. and Hancock, J. T. (2012). Low dose ionizing radiation produces too few reactive oxygen species to directly affect antioxidant concentrations in cells. *Biology Letters*, 8(4), 594–597. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0150>
- Urrea, A. I. y Ceballos, S. M. (2005). Empleo de las radiaciones gamma en la inducción de variabilidad genética en *Heliconia psittacorum*. *Actual Biol*. 27: 17–23. Disponible en: <https://docplayer.es/58375569>
- Victor, O.-G., Aray, M. y Antoima, Y. (2001). Inducción de mutantes para el color de la flor en crisantemos (*Dendranthema grandiflora* (Ram.) Tzvelev) mediante radiaciones gamma. *Revista UDO Agrícola*, 1: 56–63. Disponible en: <http://www.bioline.org.br/pdf?cg01009>
- Yaniv, Z., Schafferman, D., Shamir, I. and Madar, Z. (1999). Cholesterol and triglyceride reduction in rats fed *Matthiola incana* seed oil rich in (n-3) fatty acids. *Journal of Agriculture and Food Chem*. 47: 637–642. <https://doi.org/10.1021/jf980744k>
- Zhang, L., Zheng, F., Qi, W., Wang, T., Ma, L., Qiu, Z. and Li, J. (2016). Irradiation with low-dose gamma ray enhances tolerance to heat stress in *Arabidopsis* seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 128: 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.02.025>

CAPITULO III. ALTERACIÓN DEL DESARROLLO FISIOLÓGICO DE PLÁNTULAS DE ALHELÍ POR RADIACIÓN CON GAMMAS DE ⁶⁰Co

RESUMEN

El alhelí es una flor de corte de limitado germoplasma en México, por ser una planta introducida. De lo anterior, la mutagénesis ha mostrado ser una herramienta eficiente para la constante generación de variabilidad. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar la dosis adecuada para inducción de caracteres fisiológicos seleccionables por la exposición de semillas de tres genotipos de alhelí con ⁶⁰Co. Se irradiaron semillas de los genotipos Nieve, Rosita y Uva a dosis de 0 (Control), 50, 70, 90, 110, 130 y 150 Gy, de las cuales se sembraron y después de los cuarenta días se registraron las variables porcentaje de germinación (%G), longitud del tallo (AT) y raíz (LR), grosor del tallo (GT), longitud al primer entrenudo (LPE), número total de hojas (NH), área foliar (AF) y vigor (V). Los datos fueron analizados por genotipo, dosis de radiación y uno combinado, los promedios de cada variable en los genotipos y radiación fueron comparados por Tukey (0.05). Se mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos, dosis de radiación e interacción genotipos * radiación. Por genotipos Nieve obtuvo los mejores promedios para las variables aquí estudiadas, con las dosis de radiación de 70, 90 y 110 Gy las dosis que mayor estímulo mostraron al promedio de todas las variables, excepto para LPE. De la interacción genotipo*radiación se obtuvo que cada genotipo muestra distinta respuesta a la radiación, de ello se clasificaron los tres

genotipos en tres categorías donde rosita mostro respuesta a dosis bajas (50, 70 y 90 Gy), Uva a dosis intermedias (70, 90 y 110 Gy), y de requerimientos de dosis altas fue Nieve (70, 110 y 130 Gy). De lo anterior se sugiere no generalizar dosis por especie.

Palabras clave: flor de corte, mutagénesis, ornamental, radiación gamma.

CHAPTER V. ALTERATION OF THE PHYSIOLOGICAL DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF STOCK BY RADIATION GAMMA WITH ^{60}Co

ABSTRACT

The stock flower is a cut flower of limited germplasm in Mexico, as a plant introduced. Mutagenesis has proven to be an efficient tool for the constant generation of variability. In this sense, the aim of this study was to determine the appropriate dose for the induction of physiological traits selectable by the exposure of seeds of three genotypes of stock flower gamma rays (^{60}Co). Seeds of the genotypes Nieve, Rosita and Uva were irradiated at doses of 0 (Control), 50, 70, 90, 110, 130 and 150 Gy, forty days later the following variables were recorded: germination percentage (% G), length of stem (AT) and root (LR), stem thickness (GT), length to first internode (LPE), total number of leaves (NH), foliar area (AF) and vigor (V). The data were

analyzed by genotype, radiation and one interaction and the averages of each variable in regard to genotypes and radiation dose were compared by Tukey (0.05). Significant statistical differences ($p \leq 0.01$) were shown between genotypes, radiation and genotype * radiation interaction. Concerning genotypes Nieve obtained the best averages for the variables studied here, concerning radiation dose 70, 90 and 110 Gy were the doses that promoted stimulation of all variables, except for LPE. From the interaction genotype * radiation each genotype showed different response to the radiation. Genotypes were classified in three categories, Rosita showed response at low doses (50, 70 and 90 Gy), Uva at intermediate doses (70, 90 and 110 Gy), and high dose interaction were registered in Nieve (70, 110 and 130 Gy). Results suggest that response to radiation is highly dependent on genotype.

Keywords: cut flower, mutagénesis, ornamental, radiation gamma.

3.1 INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético por mutagénesis está basado en la capacidad de generar variación artificial, por la exposición con agentes físicos (e.g. rayos X, radiación gama) o químicos (e.g. colchicina, etil metano sulfonato), que por recombinación o segregación sería tardado o imposible inducir (Van Harten, 2002).

La mutagénesis ha mostrado ser un herramienta eficiente para la constante generación de variabilidad y novedad, dos características que el mejoramiento genético de plantas ornamentales se requieren de forma permanente (Kolar *et al.*, 2011). La inducción de variabilidad es básica para fortalecer los programas de mejoramiento por el exótico germoplasma que se puede inducir (Oladosu *et al.*, 2016), pero de mayor significado en la academia es por las importante aportaciones al estudio de los cambios genéticos expresados por el fenotipo en el desarrollo de las plantas tratadas por mutágenos (Kolar *et al.*, 2011).

En años recientes en plantas ornamentales se ha preferido el uso de radiación con ⁶⁰Cobalto (⁶⁰Co), por ser de sencilla y segura aplicación en comparación a los tratamientos con agentes químicos (Schum, 2003; Shu *et al.*, 2011), además que tiene el alcance de fracturar estructuras a nivel del ADN e interrumpir la síntesis de rutas metabólicas por la inducción de radicales libres en las células (Wi *et al.*, 2007; Canul-ku *et al.*, 2012). De los cambios observados en ornamentales se tienen modificaciones en el color, tamaño, forma, estructura y fragancia de la flor, ejemplares de porte alto o enano, y se han reportado casos en mutantes de floración precoz y de ejemplares que mostraron resistencia a factores bióticos y abióticos (Schum, 2003), cambios que dependen del grado de intensidad y tiempo de exposición al mutágeno (Rahimi y Bahrani, 2011).

El alhelí (*Matthiola incana*) es una flor de corte con limitado germoplasma en México, por ser de orígenes del viejo continente (Martin *et al.*, 2013). Sin

embargo, en la horticultura ornamental de México mantiene estadísticas de producción que la catalogan como un cultivo rentable, considerada dentro de las diez flores más importantes de producción (Ramirez y Chavez, 2014). La innovación y generación de tecnología en esta especie es limitada, dentro del cual al mejoramiento en esta especie no se había abordado hasta el momento.

Sin embargo, antes de realizar un programa de mejoramiento por mutagénesis para cualquier especie se requiere explorar aquellas dosis que induzcan la mejor respuesta fisiológica en etapas tempranas del desarrollo de las plantas. En este sentido, la información sobre la aplicación de mutágenos en alhelí se desconoce, por ello el objetivo del presente estudio fue determinar la dosis adecuada para inducción de caracteres fisiológicos seleccionables por la exposición de semillas de tres genotipos de alhelí con ^{60}Co .

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Recurso vegetal

Semillas de los genotipos Nieve Rosita y Uva de alhelí fueron colectadas del ciclo de siembra 2017, posteriormente fueron clasificadas por densidad en una máquina sopladora de viento. En el experimento solo se consideraron muestras de mil semillas con un peso entre 0.200 ± 20 mg. En el área de radiación gamma del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se trataron aquellas muestras con ^{60}Co a dosis de 0 (Control), 50, 70 90,

110, 130 y 150 Gy. El diseño del experimento fue en bloques completamente al azar generalizado.

3.2.2 Manejo del experimento

El experimento se montó dentro de un invernadero de estructura metálica y vidrio, en diseño a dos aguas, ubicado al área de experimentación del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. La siembra de las semillas irradiadas fue en charolas de unicel de 220 cavidades con turba previamente humedecida a capacidad de campo, donde se depositó una semilla por alveolo. Una charola represento un tratamiento (bloque), donde se distribuían los tres genotipos en estudio a 70 repeticiones. La temperatura máxima dentro del invernadero fue de 27 ± 2 °C y mínima de 12 ± 3 °C.

3.2.3 Variables evaluadas y análisis estadístico

La evaluación de los efectos del ^{60}Co se determinó a los cuarenta días (desarrollo adecuado al trasplante), se calculó el porcentaje de germinación (%G) al conteo de plántulas por cada genotipo en cada tratamiento, después fueron seleccionadas al azar 6 plántulas por tratamiento, mismas de las que se obtuvieron las variables longitud del tallo (AT) y raíz (LR), grosor del tallo (GT), longitud al primer entrenudo (LPE), número total de hojas (NH), área

foliar (AF) y el vigor que fue calculado con la fórmula sugerida por Akshatha *et al.* (2013).

Se realizó un análisis de varianza por genotipo, radiación y uno combinado. Los promedios de cada variable en los genotipos y radiación fueron comparados por Tukey (0.05), ambos procedimientos se hicieron con el paquete estadístico SAS ver. 9.4 (SAS Institute, 2013).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos, radiación e interacción genotipos * radiación en las variables porcentaje de germinación (% G), longitud del tallo (LT), longitud de raíz (LR), número de hojas (NH), área foliar (AF) y vigor (V). Mientras que en el grosor del tallo no hubo diferencias en genotipos e interacción genotipo*radiación. En longitud al primer entrenudo no se obtuvieron diferencias en la interacción genotipo * radiación (Cuadro 1).

En los genotipos hubo diferencias significativas, debido a distinta expresión fenotípica, como reflejo de la variabilidad genética intrínseca de cada material. La significancia mostrada en el efecto que ejerce la radiación con ^{60}Co sobre las variables en estudio en plántulas, indica alterar el fenotipo

de cada material experimental, modificando el promedio del comportamiento fisiológico.

En la interacción genotipos *radiación se observó que los genotipos se mostraron sensibles a la radiación, excepto en el GT y LPE, muestra de ello que tal vez, estos caracteres sean de constitución dominante, y que la radiación solo altera en gran medida caracteres de integración recesiva (Rahimi y Bahrani, 2011).

Cuadro 1. Cuadrados medios y su significancia estadística del análisis de varianza de genotipo, radiación e interacción genotipo radiación.

FV	%G	LT (cm)	LR (cm)	GT (cm)	LPE (cm)	NH	AF (cm ²)	V
Genotipos	23487 **	32.68 **	10.11 **	0.25 ns	0.59 **	18.02 **	15.02 **	271896 **
Radiación	93.90 **	13.07 **	19.31 **	1.13 **	0.56 **	13.78 **	13.06 **	15687.8 **
Gen * Rad	126.16 **	1.87 **	1.8 **	0.45 ns	0.18 ns	2.57 **	3.59 **	4883.4 **
C.V.	6.58	17.93	24.11	22.68	150.07	13.77	28.66	18.79
R ²	0.98	0.68	0.615	0.72	0.35	0.56	0.65	0.91

FV: fuente de variación; **: altamente significativo ($p \leq 0.01$); ns: no significativo; % G: porcentaje de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de la raíz; GT: grosor del tallo; LPE: longitud al primer entrenudo; NH: número de hojas; AF: área foliar; V: vigor; C.V.: coeficiente de variación.

3.3.1 Comparación entre genotipos

La comparación de medias por genotipos muestra que Nieve obtuvo mejores promedios para las variables AT, LR, GT, LPE, NH y AF, lo cual indica que de los tres materiales experimentales es el genotipo que muestra mayor tamaño en caracteres morfológicos (Cuadro 2). El potencial de una planta se determina por el vigor, mismo que es influenciado por el resultado de la suma de todas las propiedades físicas y bioquímicas de la semilla que le

permiten funcionar aceptablemente en cualquier ambiente (Filho, 2015). De lo anterior Uva muestra el mejor promedio de V mismo que se relaciona a sus valores significantes del % G, LT y LR, características que le confieren el un desarrollo armónico en interacción con la radiación.

El desarrollo fisiológico de Rosita mostró menos del 50 % de germinación, enanismo, con y un desarrollo carente, por lo que se infiere la posibilidad de que el genotipo mantenga la presencia de genes nocivos en estado homocigótico, mismos que reducen la expresión fenotípica del material por efecto de depresión endogámica (Somera *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias de variables fenotípicas en los genotipos Nieve, Uva y Rosita.

Genotipo	Variables							
	%G	LT (cm)	LR (cm)	GT (cm)	LPE (cm)	NH	AF (cm ²)	V
Nieve	50.35 b	5.12 a	4.44 a	1.03 a	0.21 ab	8.21 a	3.58 a	48.71 b
Uva	67.48 a	5.33 a	4.14 a	0.91 b	0.33 a	7.52 b	3.09 b	64.22 a
Rosita	20.74 c	3.71 b	3.48 b	0.89 b	0.09 b	6.90 c	2.39 c	14.50 c
DMS*	1.57	0.43	0.43	0.11	0.16	0.53	0.45	4.1

Valores entre columnas son estadísticamente diferentes según Tukey ($p \leq 0.05$); % G: porcentaje de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de la raíz; GT: grosor del tallo; LPE: longitud al primer entrenudo; NH: número de hojas; AF: área foliar; V: vigor; *DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.2 Efecto de la radiación en las variables en estudio

La comparación de medias de la radiación en las variables en estudio sugiere alta significancia estadística ($p \leq 0.05$) respecto a los efectos mostrados en la fisiología de las plántulas de alhelí. El % G muestra un estímulo a 90 Gy, efecto contrario a 150 Gy, donde la germinación indica

una disminución del 7 %. Trabajos anteriores sobre el efecto en la reducción de la germinación sugieren que la principal causa es por daños en el DNA, sea de forma directa por roturas y delimitaciones de las cadenas, o de efecto indirecto por la alteración en los productos de radiólisis de radicales libres en las inmediaciones de los nucleótidos (Smith *et al.*, 2012).

La longitud del tallo indica semejanza estadística en el control, 50, 70, 90 y 110 Gy, con una reducción de la longitud del 20 % a 130 Gy y más alterada en un 60 % a 150 Gy (Cuadro 3). Como se puede observar los promedios del tratamiento control en las variables LR, LPE, NH y el V son superiores a cualquier dosis de radiación.

A manera de generalizar el efecto que mostraron las plántulas de alhelí a 150 Gy, desde la emergencia de la plántula hasta el desarrollo después de los cuarenta días, los genotipos experimentales mostraron en campo seguir una tendencia de enanismo, de arquitectura raquílica y estadísticamente esto se confirma debido a que los promedios en las variables AT, LR, LPE y NH disminuyeron un 20 % el crecimiento.

La longitud del tallo se encuentra influenciada por la cantidad de la proteína *OsEXP4* (Choi *et al.*, 2003) y de la proporción de síntesis de ácido giberélico (AG₃) (Gupta y Chakrabarty, 2013), en el caso de la raíz el desarrollo y crecimiento lo determinan principalmente auxinas (Jan *et al.*, 2011; Ubeda-Tomás *et al.*, 2012). Actualmente se conocen proteínas que modulan la

presencia de capilares como la *AtEXP7* (Cho y Cosgrove, 2002) o la DRO1 (Wachsman *et al.*, 2015) que influye en la elongación de la raíz. En consecuencia, la radiación afecta las rutas metabólicas y de síntesis de aquellas proteínas que favorecen su expresión al fenotipo del material sometido a la radiación (Shu *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Comparación de promedios por Tukey ($p \leq 0.05$) de la radiación gama con $^{60}\text{Cobalto}$ en las variables estudio.

Rad. (Gy)	Variables							
	%G	LT (cm)	LR (cm)	GT (cm)	LPE (cm)	NH	AF (cm ²)	V
Control	44.05 d	5.43 a	5.42 a	0.50 c	0.53 a	8.16 a	1.72 b	50.52 a
50	44.77 cd	5.08 a	4.48 ab	0.94 b	0.15 bc	7.72 ab	3.16 a	43.61 ab
70	45.47 bcd	5.23 a	4.36 b	0.90 b	0.37 ab	8.38 a	3.58 a	45.21 ab
90	49.59 a	5.10 a	4.23 b	0.83 b	0.17 bc	8.00 ab	3.82 a	48.53 a
110	47.70 abc	5.02 a	4.32 b	1.27 a	0.11 bc	7.72 ab	3.81 a	47.72 a
130	48.13 a	4.17 b	3.05 c	1.19 a	0.13 bc	7.0 b	3.05 a	38.50 b
150	43.62 d	3.01 c	2.27 c	0.97 b	0.02 c	5.83 c	1.99 b	23.25 c
DMS*	3.04	0.84	0.97	0.21	0.32	1.04	0.86	8.0

Valores entre columnas son estadísticamente diferentes según Tukey ($p \leq 0.05$); % G: porcentaje de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de la raíz; GT: grosor del tallo; LPE: longitud al primer entrenudo; NH: número de hojas; AF: área foliar; V: vigor; *DMS: diferencia mínima significativa.

En años recientes se ha introducido el término “hormesis”, concepto que describe el efecto estimulante a niveles bajos de radiación o factores de estrés (Calabrese y Baldwin, 2002; Szarek, 2005; Beyaz *et al.*, 2016), tal cual se observo en el presente estudio.

En comparación al control, el área foliar incremento a 50,70, 90 y 130 Gy y a la dosis de 150 Gy decreció. Una observación hecha en campo para esta variable es de que las hojas del control en todos los materiales eran más

largas y de aquellos con radiación las hojas fueron más anchas. Misma fisiología observada fue en plántulas de *Arabidopsis*, donde en estudios sobre la expresión de genes mostraron que el transcrito de expansina *AtEXP10* moduló el crecimiento de las células en hojas, por lo que una perturbación negativa disminuye su tamaño y una positiva mejora el desarrollo (Cho y Cosgrove, 2000), de acuerdo con lo observado en el efecto del área foliar se puede inferir que la radiación tuvo un efecto positivo en la síntesis de *AtEXP10*.

En la actualidad la región *qTIPS-11* ha sido correlacionada en el cromosoma 11 en arroz (*Oryza sativa* L.), con relación al vigor de las plántulas. Respecto al efecto de la radiación en la disminución de la raíz, la longitud del tallo y el % G, se establece que la dosis reductiva del crecimiento en plántulas de alhelí ha sido en 150 Gy.

3.3.3 Interacción genotipo radiación por material vegetal

En la comparación del promedio de las dosis de radiación, Nieve mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todas las variables en estudio, mientras que Rosita no mostró diferencias en GT y LPE, en Uva solo no hubo en LPE. De lo anterior podemos generar tres categorías en respuesta a la radiación, quedando como genotipo sensible Nieve, intermedio Uva y ligeramente sensible Rosita.

Respecto al % G se observó de un aumento a 90 Gy en Uva y Rosita, mientras que en Nieve la dosis estimuladora fue a 130 Gy, mismo genotipo mostró que a 150 Gy disminuyó el 10 %, en misma dosis Uva no fue significativamente dañada.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias de los genotipos Rosita, Nieve y Uva en las siete dosis de radiación con ⁶⁰Cobalto.

Intensi. (Gy)	Rosita							
	%G	LT (cm)	LR (cm)	GT (cm)	LPE (cm)	NH	AF (cm ²)	V
CONT	13.00 d	4.5 a	4.83 a	1.10 a	0.3 a	7.83 ab	1.73 b	12.16 bc
50	17.20 c	4.48 a	4.46 a	0.91 a	0.0 a	7.33 abc	2.96 ab	15.41 ab
70	20.70 b	3.92 ab	4.40 a	0.71 a	0.0 a	8.33 a	3.60 a	17.28 ab
90	25.18 a	4.16 ab	3.41 ab	0.75 a	0.1 a	7.66 ab	2.93 ab	19.10 a
110	23.86 a	3.48 abc	3.33 ab	0.99 a	0.0 a	6.16 bcd	2.02 b	16.21 ab
130	21.00 b	2.46 c	1.86 b	0.88 a	0.2 a	5.33 d	1.77 b	9.16 c
150	24.15 a	2.96 bc	2.06 b	0.87 a	0.0 a	5.66cd	1.70 b	12.15 bc
DMS*	1.67	1.41	1.76	0.42	0.34	1.68	1.31	5.3
Nieve								
CONT	54.36 ab	5.38 a	5.31 a	0.25 c	0.58 a	8.66 a	2.30 cd	58.11 a
50	51.26 abc	5.53 a	4.5 a	0.95 b	0.10 bc	8.50 a	3.92 abc	51.43 a
70	45.68 bc	5.93 a	4.31 ab	1.09 ab	0.32 ab	8.83 a	3.20 bcd	46.83 a
90	48.90 abc	5.36 a	4.75 a	0.91 b	0.31 ab	8.33 a	4.76 ab	49.46 a
110	51.70 abc	5.50 a	5.18 a	1.37 a	0.08 bc	8.66 a	5.38 a	55.65 a
130	57.55 a	5.23 a	4.36 a	1.46 a	0.07 bc	8.66 a	3.72 abc	55.30 a
150	43.03 c	2.91 b	2.66 b	1.20 ab	0.00 c	5.83 b	1.75 d	24.20 b
DMS*	9.26	1.45	1.67	0.40	0.28	2.03	1.95	16.51
Uva								
CONT	64.70 de	6.43 a	6.13 a	0.16 d	0.72 a	8.00 a	1.13 c	81.28 a
50	65.85 d	5.23 a	4.48 ab	0.96 bc	0.3 a	7.33 ab	2.60 b	64.00 ab
70	70.05 b	5.85 a	4.36 ab	0.91 c	0.80 a	8.00 a	3.94 a	71.51 a
90	74.70 a	5.76 a	4.55 ab	0.84 c	0.08 a	8.00 a	3.77 ab	77.03 a
110	67.55 c	6.10 a	4.45 ab	1.45 a	0.23 a	8.33 a	4.02 a	71.30 a
130	65.85 d	4.81 ab	2.93 bc	1.25 ab	0.08 a	7.00 ab	3.67 ab	51.05 bc
150	63.70 e	3.16 ab	2.08 c	0.83 c	0.06 a	6.00 b	2.52 b	33.41 c
DMS*	1.33	1.70	1.81	0.33	0.90	1.89	1.34	17.92

Valores en columnas con letras iguales indican no diferencias dentro del genotipo según Tukey ($p \leq 0.05$); % G: porcentaje de germinación; LT: longitud del tallo; LR: longitud de la raíz; GT: grosor del tallo; LPE: longitud al primer entrenudo; NH: número de hojas; AF: área foliar; V: vigor; *DMS: diferencia mínima significativa.

En Rosita la radiación con ^{60}Co mostró ser un estimulante de la germinación en cualquier dosis aquí estudiada, de lo anterior se ha sugerido que genotipos con baja germinación, alto nivel de dormancia, condiciones genéticas o estresantes que retardan e inhiben la germinación muestran respuesta positiva a la radiación (Díaz *et al.*, 2017). El efecto estimulatorio de la germinación ha sido también observado en dosis bajas en girasol (*Helianthus annuus* L.) (Hussain *et al.*, 2017), papa (*Solanum tuberosum* L.) (Díaz *et al.*, 2017), lo que indica un efecto de hormesis.

Trabajos previos en otras especies indican que la altura de las plantas es afectada cuando se ha tratado al organismo con ^{60}Co (Gon *et al.*, 2007; Canul-ku *et al.*, 2012). El promedio de la longitud del tallo mostró diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para los tres genotipos. Las dosis en estudio mostraron una afectación gradual conforme al aumento de la radiación siendo que a 150 Gy Uva perdió 50 % de altura, Nieve el 40 % y Rosita el 15 %. Efecto similar ha sido reportado en plántulas de haba (*Vicia faba*) (Mejri *et al.*, 2012) gladiola (*Gladiolus hybrida*) (Patil y Dhaduk, 2009), en Lisiantus (*Lisianthus grandiflorum*) (Dahab *et al.*, 2017), y en rosa (*Rosa hybrida*), donde hubo una pérdida de 2.51 cm a 55 Gy respecto a su control (Bala y Singh, 2015).

El efecto de la radiación en los materiales experimentales muestra diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en la longitud de la raíz al incrementar la radiación. Como se observa, al igual que en la longitud de tallo se obtuvo una tendencia decreciente al aumento de las dosis. De lo anterior que la

perdida en Nieve fue la pérdida del 50 %, del 60 % en Rosita y 70 % en Uva en 150 Gy, lo anterior indica que la radiación influye negativamente a la longitud de la raíz en plántulas de alhelí. Mejri *et al.* (2012) mencionan que en dosis mayores a 100 Gy de plántulas de haba también observaron una reducción de la longitud de la raíz del 10% a 150 Gy. Dahab *et al.* (2017) también observaron pérdidas en lisianthus (*L. grandiflorum*) en dosis superiores a los 100 Gy. Resultados de Borzouei *et al.* (2010) mencionan que en la evaluación de mutantes de trigo (*Triticum aestivum* L.) observaron que dosis entre los 100 y 200 Gy hubo una reducción en la longitud del tallo, longitud de raíz, tal como se observó en los materiales aquí evaluados.

La comparación de los promedios en el grosor del tallo en las plántulas de alhelí para cada genotipo sugiere diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en Nieve y Uva. En nuestro estudio se apreció que la radiación genera un engrosamiento del tallo, para Nieve 130 Gy exhibió el mejor promedio con un incremento de 1.21 mm, mientras que en Uva el incremento fue de 1.29 mm a 110 Gy, esto con relación al testigo.

El efecto mostrado en la LPE en Nieve indica que el control mantiene la mayor longitud (0.58) mientras que a 150 Gy no hay separación de entrenudos, tal como se observó en campo, donde las plántulas presentaron un consecutivo empalme de hojas. Antúñez *et al.* (2017) encontraron en plantas mutantes de uchuva (*Physalis peruviana*) que dosis de 125, 200 y 225 Gy incrementaron el grosor del tallo, y un efecto positivo al incrementar

la longitud del primer entrenudo a 175 y 200 Gy, y observaron un decremento a 300 y 350 Gy.

La comparación de medias en el NH para los tres genotipos mostró diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$). Sin embargo, Rosita obtuvo mayor variabilidad en sus promedios, ya que a 70 Gy gana 0.5 hojas y pierde 1.73 hojas con 150 Gy, respecto al testigo.

En contraste los genotipos Nieve y Uva mostraron una pérdida de 2.83 y 2 hojas respectivamente respecto a su tratamiento control a 150 Gy, pero sin ganancia a ninguna dosis. Respecto a lo reportado en otras investigaciones es común generar una pérdida del número de hojas que una ganancia en la exposición de organismos a ^{60}Co (Patil y Dhaduk, 2009; Bala y Singh, 2015; Dahab *et al.*, 2017; Verma *et al.*, 2017).

En Rosita, Nieve y Uva se obtuvieron diferencias estadísticas en AF ($p \leq 0.05$). Observando la dinámica de Rosita hubo un incremento de 1.83 cm² a 70 Gy, y una semejanza estadística entre su control y el promedio más bajo que fue en 150 Gy. En Nieve y Uva fue a 110 Gy la dosis que estimuló el mejor promedio, con una ganancia de 3.08 cm² y 2.89 cm² respectivamente. La pérdida del área en Nieve fue de 0.55 a 150 Gy, mientras que en Uva cualquier dosis mostró mejor promedio que el control.

El mejor promedio en vigor mostrado en plántulas de Nieve y Uva fue el control, sin embargo, en ambos genotipos respondieron negativamente a 150 Gy, debido a que el vigor de Uva (50%) mostró ser el más dañado,

enseguida Nieve con una reducción del 34 %. En contraste a lo anterior, los cambios del vigor en Rosita fueron mínimos, siendo que la media aumentó con 90 Gy, pero disminuyó en casi 3 el valor medio respecto al testigo. Efecto distinto a lo obtenido en el vigor de plántulas mutantes *Terminalia* (*Terminalia arjuna* Roxb), donde la mejor respuesta fue en 100 Gy y una ligera reducción a los 200 Gy, pero siempre superior al control (Akshatha *et al.*, 2013).

3.4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del presente estudio sugieren diferentes dosis estimuladoras para cada parámetro requerido por genotipo. Así, en Rosita las dosis que mejor inducen variabilidad seleccionable son a 50 (aumenta la LT), 70 (incrementa el NH y AF) y 90 Gy (estimula mayor %G y mejora el V).

En Nieve las dosis que mejor inducen cambios en a 70 (aumenta LT e incrementa el NH), 110 (aumenta LPE e incrementa el AF) y 130 Gy (estimula mayor % G y mejora el GT). El rango de Uva para mejorar los atributos comienza constante desde 70 (aumenta LPE), 90 (estimula mayor %G) y 110 Gy (genera un aumento en el NH, AF y mejor GT). De lo anterior se sugiere generar conocimiento por genotipo y no generalizar efectos de dosis por especies.

3.5. LITERATURA CITADA

- Akshatha, K. R. C., Somashekarappa, H. M. and Souframanien, J. 2013. Effect of gamma irradiation on germination, growth, and biochemical parameters of *Terminalia arjuna* Roxb. *Radiation Protection and Environment*, 36; 38. <https://doi.org/10.4103/0972-0464.121826>
- Antúnez, O. O. M., Cruz, I. S., Sandoval, V. M., Santacruz, V. A., Mendoza, O. L. E., de la Cruz, T. E. y Peña, L. A. 2017. Variabilidad inducida en caracteres fisiológicos de *Physalis peruviana* L. mediante rayos gamma ^{60}Co aplicados a la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40: 211-218.
- Bala, M. and Singh, K. P. 2015. *In vitro* mutagenesis in rose (*Rosa hybrida* L.) cv. Raktima for novel traits. *Indian Journal of Biotechnology*, 14: 525-531.
- Beyaz, R., Kahramanogullari, C. T., Yildiz, C., Darcin, E. S. and Yildiz, M. 2016. The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under *in vitro* conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 162-163, 129-133. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.006>
- Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H., Naseriyan, B. and Majdabadi, A. A. 2010. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Pak. J. Bot.*, 42: 2281-2290. <https://pdfs.semanticscholar.org/26ac/84331c91ebb76e8a1ccffed3d8744ea53b3f.pdf>
- Calabrese, E. J. and Baldwin, L. A. 2002. Defining hormesis. *Human and Experimental Toxicology*, 21: 91-97. <https://doi.org/10.1191/0960327102ht217oa>
- Canul-ku, J., García, F. P., Campos, E. B., Barrios, E. J. G., de La Cruz-torres, E., García, J. M. A. y Ramírez, S. R. 2012. Efecto de la irradiación

- sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 1495–1507.
- Cho, H. and Cosgrove, D. J. 2000. Altered expression of expansin modulates leaf growth and pedicel abscission in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biology*, 97: 9783–9788. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.160276997>
- Cho, H. and Cosgrove, D. J. 2002. Regulation of root hair initiation and expansin gene expression in *Arabidopsis*, 14: 3237–3253. <https://doi.org/10.1105/tpc.006437.Several>
- Choi, D., Lee, Y., Cho, H. and Kende, H. 2003. Regulation of expansin gene expression affects growth and development in transgenic rice plants, 15: 1386–1398. <https://doi.org/10.1105/tpc.011965.1998>
- Dahab, A. M. A., Heikal, A. A. M., Taha, L. S., Gabr, A. M. M., Metwally, S. A. and Ali, A. A. R. 2017. *In vitro* Mutagenesis induction in *Eustoma grandiflorum* plant using gamma radiation. *Journal of Environmental Science and Technology*, 10: 175–185. <https://doi.org/10.3923/jest.2017.175.185>
- Díaz, S. J. L., González, Cepero, M. C., Castillo, J. G. and Varela, M. 2017. Efecto de los rayos gamma sobre la germinación de la semilla botánica de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 38: 89–91.
- Filho, M. J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, 72: 363–374. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>
- Gupta, R. and Chakrabarty, S. K. 2013. Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. *Plant Signaling and Behavior*. <https://doi.org/10.4161/psb.25504>
- Hussain, F., Iqbal, M., Zahir, S., Afzal, Q. M., Bokhari, T. H., Abbas, M. and Younus, M. 2017. Sunflower germination and growth behavior under

- various gamma radiation absorbed doses. *Acta Ecologica Sinica*, 37: 48–52. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.09.009>
- Jan, S., Parween, T., Siddiqi and T. O. Mahmooduzzafar. 2011. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20: 17–39. <https://doi.org/10.1139/a11-021>
- Kolar, F., Pawar, N. and Dixit, G. 2011. Induced chlorophyll mutations in *Delphinium malabaricum* (Huth) Munz. *Journal of Applied Horticulture*, 13: 18–24.
- Martin, E., Yilmaz, G. and Tekin, M. 2013. Karyology of endemic *Matthiola anchoniifolia* Hub.-Mor. (Brassicaceae) in Turkey. *Caryologia*, 66: 293–295. <https://doi.org/10.1080/00087114.2013.852343>
- Mejri, S., Mabrouk, Y., Voisin, M., Delavault, P., Simier, P., Saidi, M. and Belhadj, O. 2012. Variation in quantitative characters of faba bean after seed irradiation and associated molecular changes. *African Journal of Biotechnology*, 11: 8383–8390. <https://doi.org/10.5897/AJB11.291>
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A. and Usman, M. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: A review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 30: 1–16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>
- Patil, S. D. and Dhaduk, B. K. 2009. Effect of gamma radiation on vegetative and floral characters of commercial varieties of gladiolus (*Gladiolus hybrida* L.). *Journal of Ornamental Horticulture*, 12: 232–238.
- Rahimi, M. M. and Bahrani, A. 2011. Effect of gamma irradiation on qualitative and quantitative characteristics of canola (*Brassica napus* L.). *Middle-East Journal of Scientific Research*, 8: 519–525.
- Ramírez, Z. G. y Chávez, S. J. L. 2014. Mejoramiento genético de

ornamentales del estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México-ICAMEX.

SAS Intitute. 2013. Base SAS 9.4 Procedures Guide: Statical Procedures, Second edition. Cary, North Carolina, USA.: SAS. Disponible en: <https://support.sas.com/en/support-home.html>

Schum, A. 2003. Mutation breeding in ornamentals: An efficient breeding method? Acta Horticulturae, 612: 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.612.6>

Shu, Q. Y., Forster, B. P. and Nakagawa, H. 2011. Plant Mutation Breeding and biotechnology. Plant Mutation Breeding and Biotechnology (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Smith, J. T., Willey, N. J. and Hancock, J. T. 2012. Low dose ionizing radiation produces too few reactive oxygen species to directly affect antioxidant concentrations in cells. Biology Letters, 8: 594–597. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0150>

Somera, A., Ragagnin, A. L. S. L., Costa, M. L., Candido, W. dos S. and dos Reis, E. F. 2018. Inbreeding depression and performance of partially self-fertilized maize progenies in a top cross. Chilean Journal of Agricultural Research, 78: 318–326. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000300318>

Szarek, S. 2005. Use of concept of hormesis phenomenom to explain the law of dimishing returns partII. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Disponible en: <http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue4/art-61.html>.

Ubeda-Tomás, S., Beemster, G. T. S. and Bennett, M. J. 2012. Hormonal regulation of root growth: Integrating local activities into global behaviour. Trends in Plant Science, 17: 326–331.

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.02.002>

Van Harten, A. 2002. Mutation breeding of vegetatively propagated ornamentals. En A. Vainstein, Breeding for ornamentals: Clasical and Molecular Approaches (págs. 105-127). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Verma, A. K., Sharma, S., Kumar, R. K., Dayal, R. M. and Sharda, C. 2017. Gamma radiation effects seed germination, plant growth and yield attributing characters of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6: 2448–2458.
<https://doi.org/https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.274>

Wachsman, G., Sparks, E. E. and Benfey, P. N. 2015. Genes and networks regulating root anatomy and architecture. New Phytologist, 208: 26–38.
<https://doi.org/10.1111/nph.13469>

Wi, G. S., Yeoup, C. B., Kim, J., Kim, J., Baek, M., Lee, J. and Soo, Y. 2007. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. Micron, 38: 553–564.
<https://doi.org/10.1016/j.micron.2006.11.002>

CAPITULO IV. USO DEL ⁶⁰CO PARA GENERAR VARIABILIDAD MORFOLOGICA EN ALHELÍ

RESUMEN

En México existe un limitado germoplasma para poder iniciar un programa de mejoramiento genético en alhelí, es por ello que el objetivo fue caracterizar la variabilidad generada en dos genotipos de alhelí por exposición a seis dosis de radiación con ⁶⁰Cobalto. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar. Se evaluaron 10 variables morfológicas en tallos forales y solo se evaluó la dominancia de color en flores mutantes del genotipo Uva. Los resultados mostraron no haber diferencias estadísticas en ninguna fuente de variación en número de basales, así mismo entre genotipos no se obtuvo diferencias en longitud del tallo, peso y volumen de raíz. Con las diferentes dosis de radiación no hubo diferencias en diámetro del tallo. Mientras que en la interacción genotipo*radiación no encontró significancia en longitud del tallo y raíz. En los genotipos Nieve y Uva, las dosis altas estimulan sus variables morfológicas. Respecto a la pigmentación de los pétalos en mutantes de Uva, la radiación indujo distintos porcentajes en tonos color blanco, guinda y rosa. Se concluye que la radiación estimuló mejores características morfológicas seleccionables en los genotipos Nieve y Uva.

Palabras clave: mutagénesis, ornamental, alteración, flores.

CHAPTER VI. USE OF THE 60CO TO GENERATE MORPHOLOGICAL VARIABILITY IN ALHELÍ

ABSTRACT

In México there is a limited germplasm to be able to initiate a program of genetic improvement in stock, that is why the objective of the following study was to characterize the variability generated in two genotypes of stock by exposure to six doses of ⁶⁰Cobalto. The experimental design was in blocks completely random. Ten morphological variables were evaluated in the foral stems and only the color dominance in mutant flowers of the Uva genotype was assessed. The results showed no statistical differences in any source of variation in number of basal, likewise on genotypes was not obtained differences in stem length and length, weight and root volume. In radiation there were no differences in stem diameter. While in the interaction genotype radiation found no significance in length of stem and root. By genotype, the evaluated doses indicate that Nieve and Uva improvements their averages in variables morphological in high doses. With regard to the pigmentation of the petals in mutants of Uva, the radiation induced different percentages in shades of white, cherry and pink. It is concluded that the drafting stimulus best morphological features selectable in the genotypes Nieve and Uva.

Keywords: mutagenesis, ornamental, alteration, flowers.

4.1 INTRODUCCIÓN

Por muchos años se han estado desarrollando de manera separada o junta nuevos materiales vegetales, ya sea por hibridación o técnicas que estimulen la generación de mutantes (Shibata, 2008). Casos donde existe un limitado germoplasma se busca la inducción de variabilidad, y de ello con el uso de agentes de radiación ionizante se han logrado obtener cambios aprovechables en morfología, hábitos y eficiencia de procesos bioquímicos en plantas ornamentales (Kazi, 2015), siendo que los factores que intervienen en la frecuencia y saturación de estos cambios son la dosis del agente mutágeno, misma que tratándose de radiación ionizante de forma directa induce cambios en el DNA, causando posibles lesiones genómicas (desde una delección o inserción por codones) que se pueden traducir al fenotipo como anormalidades o en respuestas estimulantes fisiológicas (Berenschot *et al.*, 2008; Caplin y Willey, 2018).

De forma indirecta el efecto de la radiación se expresa como interrupciones en las rutas de síntesis de enzimas, hormonas (Ubeda-Tomás *et al.*, 2012) e inclusive el daño de órganos endógenos del material expuesto (e.g. radícula, cotiledones o el mismo embrión), siendo el principal factor la radiosensibilidad propia del organismo quien determine el cambio (Esnault *et al.*, 2010; Kam y Banati, 2013). Como se conoce, la radiación es aleatoria, pues no puede predecirse el efecto ni el sentido (positivo= estímulo ó

negativo= decremento). En el sentido positivo el $^{60}\text{Cobalto}$ (^{60}Co) ha mostrado ser un precursor del estímulo de enzimas, proteínas y la expresión de genes que codifican al beneficio de la sobre expresión en la fisiología de algún carácter del organismo (e.g. mayor longitud del tallo, raíz y diámetro de flores etc.) (Wi et al., 2007;.Caplin y Willey, 2018). Mismos que han sido aprovechados en la selección de mutantes que presentan patrones distintos a los encontrados de forma natural en caracteres de interés agronómico para la horticultura ornamental (Berenschot *et al.*, 2008; Soliman, 2014; Kazi, 2015)

Dentro de la comunidad científica se ha formulado la hipótesis de que el efecto estimulador se logra dosis bajas (50 y 70 Gy <), por ejemplo se documenta lo mostrado para nardo (*Polianthes tuberosa*) en dosis de 10 Gy (Kazi, 2015), gladiola (*Gladiolus hybridus*) con 12 Gy y crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) en 15 Gy (Soliman *et al.*, 2014) donde se logró el incremento de la longitud del tallo, presencia de tallos florales y ganancia de atributos relacionados a la floración, tal efecto se ha nombrado como “hormesis”, concepto que define el sentido positivo a bajas dosis de radiación gamma (Calabrese y Baldwin, 2002).

La comunidad florista constantemente demanda novedad y de la introducción de nuevos cultivares con nuevas formas y colores, por lo tanto, se requiere explorar y revalorar aquellas flores que muestren múltiples

beneficios que generen potencial económico, con el objetivo de dirigir esfuerzos que impulsen la creación de esquemas de mejoramiento genético por mutagénesis.

De lo anterior en años recientes la dinámica de mercado y demanda para la flor de alhelí ha ganado territorio, al grado de posicionarse dentro de las flores de corte de mayor importancia (Ramirez y Chavez, 2014). Al ser una flor introducida, de origen en países europeos (Martin *et al.*, 2013) la variabilidad es limitada. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio busca caracterizar la variabilidad generada por $^{60}\text{Cobalto}$ (^{60}Co) en los mutantes obtenidos de la radiación de semillas de los genotipos Nieve y Uva, así como determinar las dosis que mejor estimulen la expresión de los caracteres morfológicos en estudio.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Material vegetal y sitio experimental

Semilla de los genotipos de alhelí Nieve y Uva se irradió en dosis de 0 (Control), 50, 70, 90 110, 130 y 150 Gy en el instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). La semilla después de ser tratada se sembró en charolas de unicel con turba humedecida a capacidad de campo. Los tratamientos se distribuyeron en las charolas, cada charola represento una dosis de radiación que a su vez contenía los tres genotipos en

tratamiento. Las charolas se mantuvieron dentro de invernadero con estructura de vidrio, ubicado en el área de experimentación del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

4.2.2 Manejo del experimento y variables evaluadas

El riego de las charolas fue constante (cada dos días) con la solución Steiner al 10 % (Steiner, 1961) pH de 5.5 y de 0.5 dS m⁻¹. Trascurrido un mes las plantas fueron trasplantadas en cama de arena, bajo condiciones de invernadero donde el marco de plantación fue similar al empleado para la germinación en charolas. Se seleccionaron al azar 50 plantas de cada tratamiento que fueron trasplantadas con una distancia entre plántulas de 10 × 10 cm. Después del trasplante, se aplicaron 250 g de enraizador por el sistema aspersión, para después solo aplicar agua en dos riegos diarios (9:00 am y 6:00 pm), durante dos semanas. En la tercera semana, se comenzó por suministrar al 20 % la solución Steiner (1961), con una frecuencia de cada dos días. Al segundo mes la solución nutritiva se aumentó al 35 % y al tercer y etapa final al 50 %.

Trascurridos los cuatro meses, se recabaron datos en tallos florales que presentaran el 80 % del total de flores abiertas, entre ellos se tomaron al azar 10 tallos (repeticiones) de cada tratamiento y se obtuvieron las variables correspondientes a caracteres de la parte aérea como longitud del tallo (LT),

diámetro del tallo (DT) (la medida fue a 5 cm del inicio de tallo), número de basales (NB)(tallos que emergen desde la base cambial entre raíz y tallo), longitud de inflorescencia (LI)(desde el inicio del brote hasta la última flor apical), número de brotes laterales(NBL) (Conteo de brotes axilares por tallo floral) y el total de flores por tallo (TF). Después se tomaron las variables características de la flor, donde se muestrearon al azar 20 flores recién abiertas de 10 tallos por tratamiento, de las que se obtuvo el peso de flor (PF), diámetro de la flor (DF), mientras que de las flores de cada tratamiento se obtuvo el color y el porcentaje que expresaron los pétalos, siguiendo la metodología de procesamiento de imágenes de García *et al.* (2015).

Respecto a variables de raíz se determinó la longitud de raíz (LR), peso de raíz (PR), volumen de raíz (VR). La toma de longitud se realizó con un flexómetro (Truper® de 3 m de longitud), en mediciones mínimas se hizo uso de un vernier digital (mm); y al registro del peso (g) con el apoyo de una balanza digital (ADAM PW 254, Capacidad de 200g y precisión de 0.0001g).

4.2.3 Análisis estadístico

Los datos recopilados se analizan con un ANOVA por genotipos, radiación e interacción genotipos*radiación. Además, por fuente de variación en cada variable se realizó comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), todo con el software estadístico SAS ver. 9.4 (2012).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detecto entre genotipos diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) en diámetro del tallo (DT), longitud de la inflorescencia (LI), número de brotes laterales (BL), total de flores por planta (TFP), diámetro de flores (DF), peso de flor (PF). Para el caso de las dosis de radiación como fuente de variación los cuadrados medios muestran altas diferencias significativas, excepto en las variables DT Y NB.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipo, radiación e interacción genotipo* radiación.

	Media	CM			CV	R ²
		GEN	RADIACIÓN	GEN*RAD		
LT	27.25	24.13 ns	66.42 **	7.35 ns	13.37	0.38
DT	12.01	19.13 **	10.69 ns	14.05 **	18.15	0.38
NB	1.78	3.21 ns	0.91 ns	3.04 ns	72.86	0.22
LR	39.07	0.08 ns	444.64 **	44.68 ns	18.62	0.49
PR	43.36	445.53 ns	1497.02 **	347.55 **	27.63	0.58
VR	41.07	40.12 ns	1489.25 **	615.69 **	29.89	0.6
LI	38.44	285.62 **	278.12 **	99.19 **	12.79	0.65
BL	13.36	1054.97 **	155.15 **	87.57 *	36.82	0.64
TFP	84.71	28886.91 **	10884.88 **	4132.08 **	35.3	0.7
DF	33.38	312.95 **	28.45 **	95.89 **	6.41	0.80
PF	0.45	0.26 **	0.02 *	0.093 **	16.6	0.74
PBA	225.93	2695.76 ns	87317.31 **	16134.6 **	28.95	0.72

** : altamente significativo con $p \leq 0.0001$; *significativo con $p \leq 0.05$; ns: no significativo; LT: longitud del tallo; LI: Longitud de inflorescencia; NB: número de brotes laterales; TFP: total de flores por planta; DT: diámetro del tallo; LR: Longitud de raíz; VR: volumen de raíz; PR: peso de raíz; PBA: peso biomasa aérea; NB: número de basales; GEN: genotipo; RAD: radiación; CV: coeficiente de varianza; R²: Coeficiente de determinación.

En la interacción genotipo*radiación el análisis mostró que hubo diferencias en nueve de las variables morfológicas determinadas, excepto en LT, NB, y LR. Una característica de interés en alhelí es la capacidad para poder

generar mayor número de tallos florales en una sola planta, de lo anterior que en el NB no se mostraron diferencias estadísticas ($p < 0.0001$) en ninguna fuente de variación, dicha variable solo explica el 22 % de su variación a los modelos analizados, de ello que características correspondientes principalmente a la LT y DT obtuvieron un bajo coeficiente de determinación. En este caso al no haber NB las variables LT y DT se tornan beneficiadas por no mostrar competencia completa.

4.3.1 Variación en dimensiones morfológicas

Resultado de la comparación de medias (Tukey, 0.05) en genotipos, mostró que Nieve presentó mayor diámetro del tallo (12.5 mm) respecto a Uva (11.48 mm), sin embargo, abordando el interés ornamental Uva presentó una altura intermedia de inflorescencia, con alto número de brotes laterales (17.25), y flores (105 flores tallo⁻¹), características deseables en una flor de ornato (van Tuyl, 2012b). Aunque Nieve mostró mayor longitud de inflorescencia (40.46 cm), y mínima expresión de brotes laterales (9.48) y flores (64.4 flores tallo⁻¹), son las dimensiones (diámetro de 3.5 cm y peso de flores 0.51 g) de estas últimas las que hacen del genotipo una flor atractiva.

El manejo agronómico de los genotipos fue en las mismas condiciones, es la adaptación ambiental y la composición genética de cada material lo que

genera la variación entre y dentro de los mismos genotipos experimentales (Flores *et al.*, 2017).

Cuadro 2. Comparación de medias entre genotipo para variables morfológicas.

Genotipo	DT (mm)	LI (cm)	BL	TFP	DF (mm)	PF (g)
Nieve	12.53 ^a	40.46 ^a	9.48 ^b	64.4 ^b	35.48 ^a	0.51 ^a
Uva	11.48 ^b	36.42 ^b	17.25 ^a	105.02 ^a	31.26 ^b	0.39 ^b
DMS	1.04	2.35	2.3	14.32	1.02	0.03

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); *DMS: diferencia mínima significativa; DT: diámetro del tallo; LI: Longitud de inflorescencia; BL: brotes laterales; TFP: total de flores por planta; DF; diámetro de flor; Peso de flor (PF).

4.3.2 Efecto de ⁶⁰Co en morfología de tallos

La comparación de medias del efecto en la intensidad de la radiación de las variables estudio, se obtuvo que para longitud del tallo (LT), el control, 50 y 70 Gy obtuvieron los mayores promedios, lo que sugiere que tal variable no muestra un efecto positivo (aumento) a las dosis aquí estudiadas.

En trabajos previos se hace referencia, que la exposición a la radiación mayor a 100 Gy de ⁶⁰Co en flores comúnmente produce un efecto reductivo en la longitud del tallo (Bala y Singh, 2015; Dahab *et al.*, 2017), de ello que en gran parte la radiación ionizante alcanza a dañar la síntesis de AG₃ (Jan *et al.*, 2011) y de proteínas que modulan la elongación del tallo (Caplin y Willey, 2018).

Cuadro 3. Comparación de medias entre dosis de radiación en variables morfológicas de plantas de alhelí.

Dosis (Gy)	LT (cm)	LR (cm)	PR (g)	VR	LI (cm)	BL	TFP	DF (mm)	PF (g)	PBA (g)
T	28.52 ^a	34.48 ^b	37.93 ^{bc}	32.5 ^{bc}	29.75 ^d	8.5 ^c	60.9 ^{bc}	34.94 ^a	0.51 ^a	201.02 ^{bc}
50	29.53 ^a	36.16 ^b	35.48 ^c	36 ^{bc}	34.38 ^{cd}	14.7 ^a	64.7 ^{bc}	35.09 ^a	0.50 ^a	180.34 ^{bc}
70	30.01 ^a	35.55 ^b	30.12 ^c	25.3 ^c	35.68 ^{bcd}	11.3 ^b	50.50 ^c	30.75 ^b	0.39 ^b	126.44 ^c
90	27.45 ^{abc}	40.46 ^b	51.94 ^{ab}	45 ^b	40.25 ^{abc}	12.9 ^b	84.1 ^{bc}	31.77 ^b	0.46 ^{ab}	219.78 ^b
110	27.62 ^{ab}	37.12 ^b	37.02 ^{bc}	39 ^{bc}	43.05 ^a	11.6 ^b	97.7 ^b	33.22 ^a	0.46 ^{ab}	203.93 ^{bc}
130	24.39 ^{ab}	36.14 ^b	45 ^{bc}	46.3 ^b	42.28 ^{ab}	13.4 ^b	85.4 ^{bc}	33.06 ^{ab}	0.39 ^b	225.93 ^b
150	23.18 ^c	53.58 ^a	66.05 ^a	63.4 ^a	43.73 ^a	21.1 ^a	149.7 ^a	34.81 ^a	0.45 ^{ab}	424.10 ^a
DMS	4.98	9.95	16.38	16.79	6.72	6.73	40.89	2.92	0.10	89.461

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); *DMS: diferencia mínima significativa; LT: longitud del tallo; LR: Longitud de raíz; PR: peso de raíz; VR: volumen de raíz; LI: Longitud de inflorescencia; BL: brotes laterales; TFP: total de flores por planta; DF: diámetro de flor; PF: Peso de flor; PBA: peso biomasa aérea.

Todas las variables, excepto LT y PF mostraron respuesta positiva a 150 Gy, debido a que se obtuvo el estímulo del doble del promedio mostrado por el control. De lo anterior se infiere que dicha dosis actúa como estimulante de los caracteres antes mencionados (Cuadro 3). Respecto a lo documentado para otras especies ornamentales, se conoce que en rosal (*Rosa hibryda*) (Bala y Singh, 2015), lisiantus (*Lisianthus grandiflorum*) (Dahab *et al.*, 2017), y nardo (*Polianthes tuberosa*) (Estrada *et al.*, 2011) dosis superiores a los 50 Gy muestran una significativa reducción de sus caracteres morfológicos. Por lo que puede decirse que la respuesta a la radiación es diferente entre y dentro de especies. De ello que lo que para un genotipo pueda dar respuesta favorable en otros no (Wi *et al.*, 2007).

Respecto a la modificación de características físicas, se han relacionado con el aumento en los procesos relacionados de división celular, rápida

replicación de DNA, y también a la rápida formación de mitocondrias que aceleran la respiración, y activación de las rutas de síntesis de hormonas (e.g. ácido giberelico, auxinas, citocininas etc.) (Kam y Banati, 2013).

Al contrario de la estimulación positiva se tienen de aquella que va en sentido negativo, y en muestra de ello que LR, PR, VR, BL, TFP, DF, PF, PBA se mostraron dañadas a 70 Gy, semejante comportamiento des mencionado por Marcu *et al.* (2013) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* var. capitata). La causa principal de que exprese una deformidad y bajas dimensiones el fenotipo, se atribuyen a una degradación enzimática (e.g. α -amilasa, deshidrogenasa), actividad proteica (expansinas) (Lü *et al.*, 2013) y actividad catalítica, que descompensan el desarrollo armónico del organismo tratado (Vashisth y Nagarajan, 2010).

4.3.3 Variación morfológica del tallo

La comparación de medias de las variables en estudio de los caracteres de la parte superior del tallo floral no muestra correlación al incremento de la dosis en la expresión del fenotipo. De lo anterior se atribuye al elevado porcentaje de variación mostrado en la interacción genotipo*radiación del ANOVA del Cuadro 1.

Al respecto, el DT en Nieve mostró un incremento de 2.8 mm cuando el material fue expuesto a 150 Gy, mientras que en Uva el incremento fue

menor pero significativa de 1.4 mm cuando se expuso a 130 Gy (Cuadro 4), mientras que en crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. Youka) Soliman *et al.* (2014) mencionan un incremento del diámetro del tallo a 10 Gy, muy por debajo de la dosis requerida para alhelí.

Para la estimulación positiva de la longitud de la inflorescencia la dosis fue diferente en ambos genotipos, sin embargo, el mayor incremento lo mostró Uva, debido a que aumentó 21 cm a 150 Gy, mientras que el incremento de Nieve fue de 8.66 cm a 130 Gy, ambos genotipos en contraste a su control.

De las observaciones realizadas en campo se observaron cambios significativos en los mutantes generados en dosis superiores a los 110 Gy en ambos genotipos, de ello que los tallos fueron robustos con una floración densa. Sin embargo, estadísticamente para el número de brotes laterales, el mejor promedio fue en Nieve a 130 Gy (aumento 15.3 brotes tallo⁻¹) y Uva (13.4 brotes tallo⁻¹) a 50 Gy. Ambos genotipos coincidieron en el aumento del número total de flores por planta a 150 Gy, sin embargo, la mejor ganancia la obtuvo Nieve, al mostrar el beneficio en desarrollar 85 flores tallo⁻¹ más que su control, en Uva el aumento fue de 70 flores tallo⁻¹. De lo anterior se tiene que Nieve obtuvo mejor estímulo (respecto a la comparación al Cuadro 2) a las características relacionadas a la floración. Respuesta contraria lo muestra gerbera (*Gerbera jamesonii* Hook.) en la que cualquier dosis hay un daño considerable en el diámetro de la flor (Ghani *et al.*, 2013).

La ganancia en peso de las flores se debe principalmente a que las dimensiones de las células que componen los órganos flores reciben un estímulo multiprotéico en los niveles de *med8* que regula la expansión de la célula incrementando el tamaño del pétalo, mientras que la proteína *med25-2* mejora el área epidermal del área de la célula (Xu y Li, 2012), donde a los alcances de la radiación gamma tales proteínas pueden ser alteradas (Wi *et al.*, 2007).

Dentro de los objetivos del mejoramiento genético de especies ornamentales, se busca inducir y fijar mejores características relacionadas a la floración y la misma flor, de esta última, el principal objetivo es lograr sea más ancha y larga, de pétalos más densos con mejor vida postcosecha (Schum, 2003 ;van Tuyl, 2012), lo que es mejor pagado y valorado por floristas la variegación y nuevos colores en la pigmentación de los pétalos (Cheng *et al.*, 2015). De lo anterior, ambos genotipos mostraron efecto a 90 Gy, aunque en Nieve el efecto fue positivo al aumentar 6.85 mm y 0.261 g en el diámetro y peso por flor respectivamente, mientras que Uva con misma dosis las variables mostraron un efecto reductivo en 13.2 mm y 0.354 g del diámetro y peso de flor, siendo que el control mostro mejor promedio para este genotipo. En contraste Sarwar y Butt (2015) obtuvieron mayor incremento en el diámetro de la flor con 15 mm más en *Rosa centifolia* y *Rosa gruss an teplitz* a 10 Gy respecto a su control.

Cuadro 4. Comparación de medias de variables aéreas de caracteres morfológicos del genotipo Nieve y Uva.

Dosis (Gy)	DT (mm)	LI (cm)	BL	TFP	DF (mm)	PF (g)	PBA (g)
Nieve							
Testigo	12.20 ^{ab}	35.50 ^b	6.20 ^b	65.20 ^a	32.64 ^c	0.445 ^{cb}	241.96 ^b
50	12.82 ^{ab}	40.46 ^{ab}	5.20 ^b	48.20 ^b	38.15 ^{ab}	0.593 ^{ab}	186.6 ^b
70	11.80 ^{ab}	38.84 ^{ab}	7 ^b	34.20 ^b	33.42 ^{bc}	0.484 ^{bc}	144.56 ^b
90	13.58 ^{ab}	40.44 ^{ab}	9.20 ^b	49.20 ^b	39.49 ^a	0.706 ^a	223.86 ^b
110	11.14 ^b	41.36 ^{ab}	7.50 ^b	44 ^b	33.42 ^{bc}	0.537 ^{bc}	148.70 ^b
130	11.06 ^b	44.18 ^a	9.80 ^b	58.80 ^b	35.64 ^{abc}	0.407 ^c	193.6 ^b
150	15.14 ^a	42.48 ^{ab}	21.50 ^a	151.20 ^a	35.70 ^{abc}	0.456 ^{bc}	485.7 ^a
DMS	3.79	7.16	8.65	64.86	4.74	0.16	127.86
Uva							
Testigo	12.86 ^{ab}	24.00 ^d	10.80 ^b	78.40 ^{ab}	37.25 ^a	0.577 ^a	241.96 ^b
50	10.70 ^{ab}	28.30 ^{cd}	24.20 ^a	76.00 ^{ab}	32.04 ^b	0.422 ^{bc}	186.60 ^b
70	9 ^b	32.52 ^{bcd}	15.60 ^{ab}	62.80 ^b	28.08 ^c	0.306 ^{cd}	144.56 ^b
90	11.42 ^{ab}	40.06 ^{abc}	16.60 ^{ab}	109.0 ^{ab}	24.05 ^d	0.223 ^d	223.86 ^b
110	12.86 ^{ab}	44.74 ^a	15.80 ^{ab}	131.40 ^{ab}	33.03 ^b	0.394 ^{bc}	148.70 ^b
130	14.26 ^a	40.38 ^{ab}	17 ^{ab}	88.00 ^{ab}	30.49 ^{bc}	0.384 ^{bc}	193.60 ^b
150	11.46 ^{ab}	44.98 ^a	20.75 ^{ab}	148.25 ^a	33.93 ^{ab}	0.453 ^{ab}	485.70 ^a
DMS*	4.88	11.98	10.95	23.35	3.79	0.134	127.86

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05);

*DMS: diferencia mínima significativa; LT: longitud del tallo; DT: diámetro del tallo; NB: número de brotes laterales; LI: longitud de inflorescencia; BL: brotes laterales; TFP: total de flores por planta; DF: diámetro de flor; PF: peso de flor; PBA: peso biomasa aérea.

4.3.4 Pigmentación en pétalos

La variegación de las flores mostró variación en la coloración de los pétalos en los mutantes generados de Uva, mientras que los mutantes obtenidos para Nieve no se mostró modificación en el color de los pétalos, de esta se espera obtener quizás un color amarillo, crema, rosa, rojo como lo reportado por Schum (2003) y Soliman *et al.* (2014) en la variegación por mutagénesis a partir de flores blancas. De lo anterior, por el análisis de imágenes digitales se determinó el porcentaje de tonos en las flores, siendo que para Uva se clasificaron en tres tonos, en color blanco, guinda y rosa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentaje de presencia de coloración en tonos color blanco, guinda y rosa en mutantes de alhelí.

Radiación Gy	Uva		
	Blanco	Guinda %	Rosa
Control	0.00	99.59	0.41
50	0.06	99.27	0.67
70	16.03	54.07	29.90
90	0.27	93.23	6.50
110	0.10	77.50	22.39
130	18.02	52.72	29.26
150	2.30	78.06	19.64

Por lo tanto, los mutantes obtenidos de Uva mostraron dominancia del color guinda en para todos los casos, sin embargo, a los 70 110 y 130 Gy se obtuvo un porcentaje superior al 20 % de presencia de tonos rosas, mientras que los tonos blancos se presentaron con mayor porcentaje en dosis de 70, 130 y 150 Gy (Figura 1).

Iida *et al.* (2004) mencionan que las manchas y sectores pigmentados siguen un patrón correspondiente a células autónomas que siguen los nervios celulares del desarrollo de los pétalos, y que estos cambios son producidos por mutaciones somáticas recurrentes del color blanco recesivo hasta el alelo reversible pigmentado, características relacionadas el afecto de los transposones de *Ac/Ds* (*hAT*), *En/Sp* y el *Mu*, mismos que han sido detectados en especies como azalea (*Rhododendron simsii hybrids*) (de Schepper *et al.*, 2003), rosal (*Rosa hibryda*) (Koh *et al.*, 2010), campanitas (*Ipomea nil*) y ampliamente observados en flores de durazno ornamental (*Prunus mume*) (K.-F. Ma *et al.*, 2018).

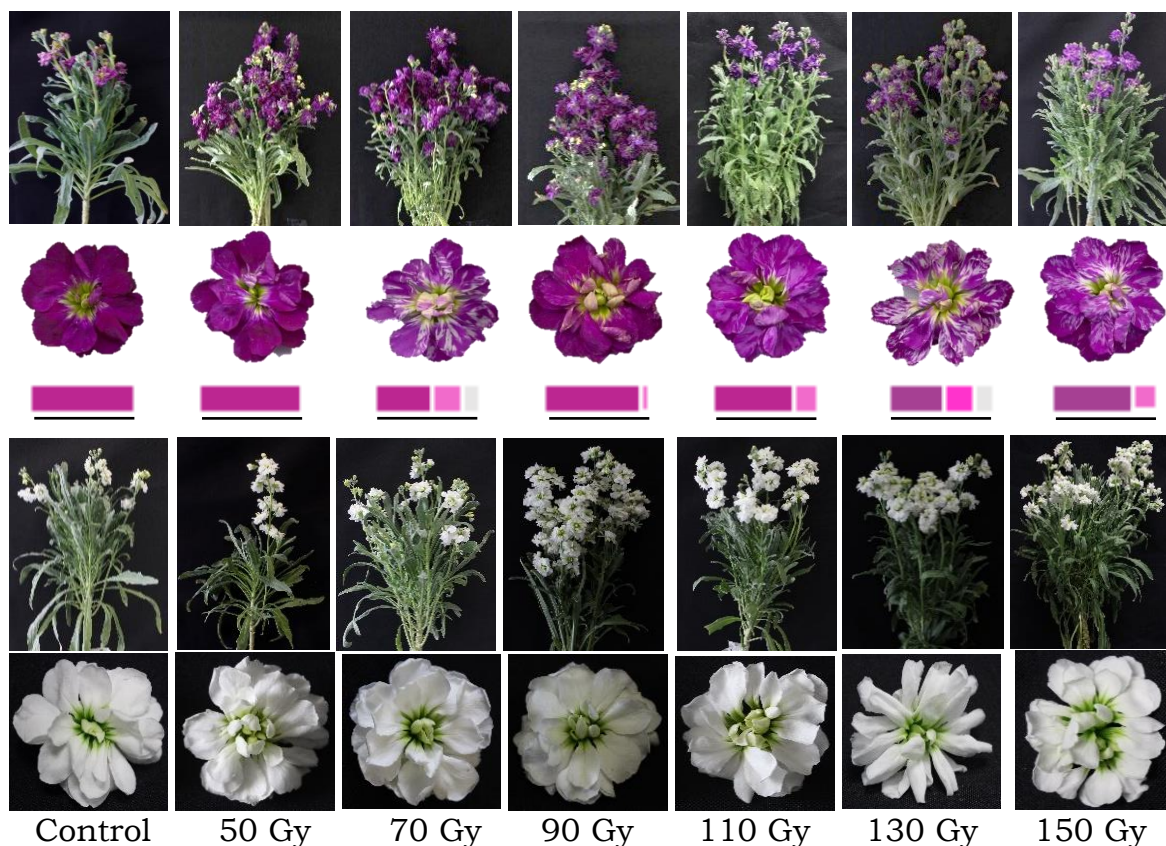


Figura 1 Esquema gradual de cambios morfológicos en la inflorescencia, alteración de flores por dosis y representación porcentual del grado de dominancia expresado en pétalos.

De los factores que contribuyen en la pigmentación de la flor se incluyen la misma estructura del pigmento y concentración, co-pigmentos, el pH de la célula, el tipo de ion, tamaño de la célula y hormonas de la planta (e.g. citoquininas, etileno y principalmente el ácido abscísico (ABA))(Petroni y Tonelli, 2011), sin embargo en la actualidad la formación del pigmento de la flor continua siendo una proceso complejo que es regulado por muchos genes (Y. Chen et al., 2014).

Sin embargo, Wu *et al.* (2017) quienes atribuyen dicho cambio a un daño en los componentes orgánicos que son fuente en la síntesis de flavonoides y antocianinas, tales como el α -ácido linoleico el cual es precursor de compuestos como la fosfolipasa A1, óxido de aleno ciclasa (AOC), jasmonato O-metiltransferasa y ácido 12-oxofitodieno. Mismos compuestos precursores de las enzimas *TF*, *bHLH*, *MYB* y *WD40*, que se relacionan con la biosíntesis de flavonoides (Mano *et al.*, 2007), dando origen a la variación de pigmentos en los pétalos florales.

4.3.5 Características de la raíz

Como se observa en la Figura 2 se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las variables longitud de raíz, volumen de raíz y peso de raíz por genotipo (figura 3). De lo anterior que cada genotipo mostró una tendencia positiva al aumento de la radiación, siendo la mejor respuesta en los tres caracteres la intensidad a 150 Gy, debido a que mejoraron sus promedios donde la longitud de raíz aumento 19.1 cm y 16.48 en Nieve y Uva respectivamente. En

comparación con rosal (*R. hibryda*) se ha observado un disminución de la longitud de la raíz después de los 55 Gy (Bala y Singh, 2013), mientras que en *lisianthus (lisianthus grandiflorum)* son Dahab *et al.*, (2017) quienes sugieren dosis de 20, 40 y 60 Gy para duplicar la longitud de raíz.

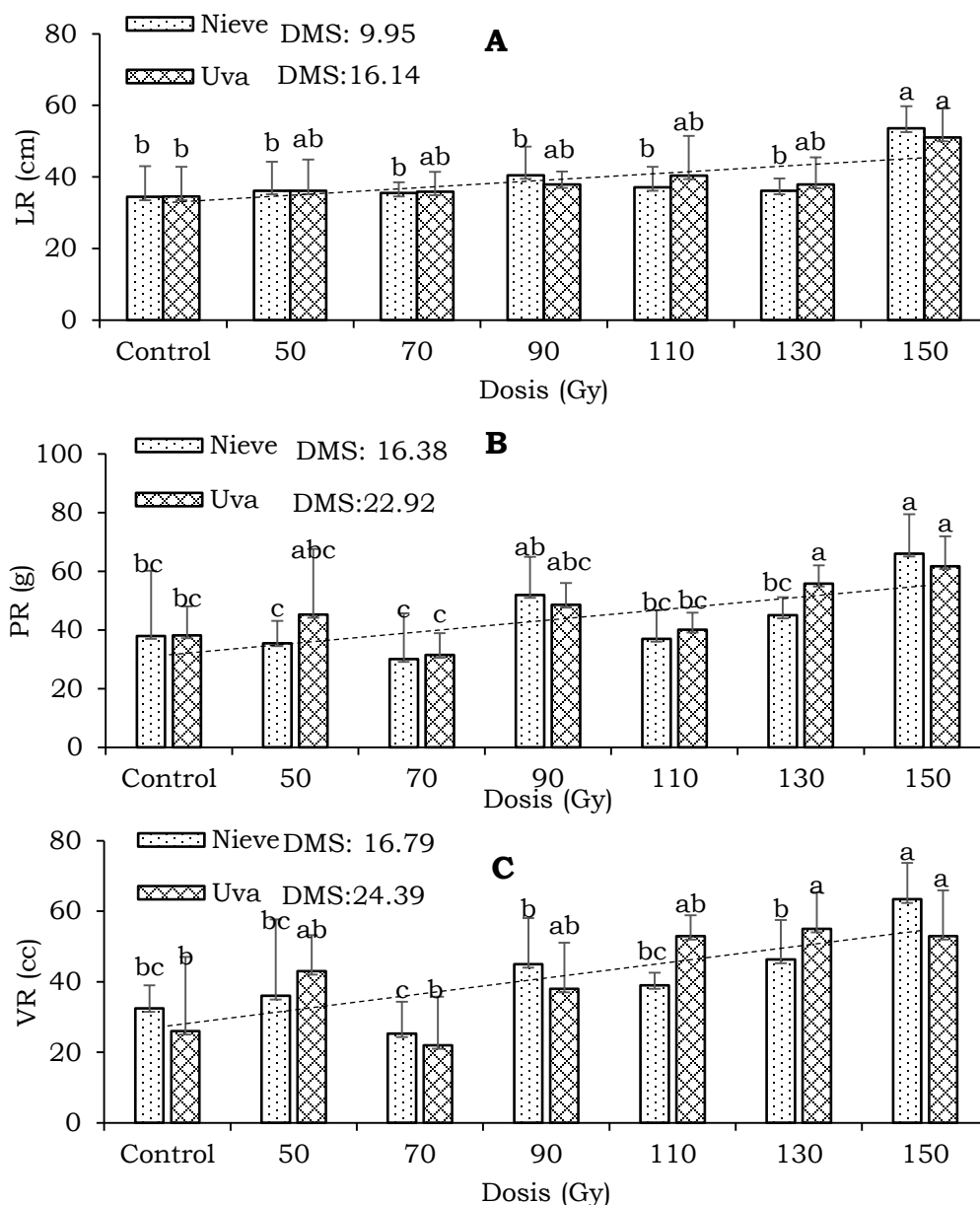


Figura 2. Graficas de la comparación de medias (Tukey, 0.05) de Nieve y Uva de las variables correspondientes a longitud (A), peso (B) y volumen de raíz (C).

Respecto a la longitud, volumen y peso de raíz se deduce que fueron sensibles a la radiación gamma, debido a que respondieron con efecto positivo al incrementar su masa en fresco, de manera proporcional a la radiación.

4.4 CONCLUSIONES

Respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye que la radiación gamma induce variabilidad en diferentes porcentajes para cada genotipo en las variables aquí estudiadas, siendo que para estimular efectos positivos cambios morfológicos en los genotipos Nieve y Uva se sugiere la aplicación en dosis de 150 Gy.

Así mismo, la radiación con ^{60}Co mostro efectividad para inducir variabilidad en la floración y coloración de las flores en el genotipo Uva. Se sugiere continuar explorando dosis que mejoren atributos que para esta investigación no hubo diferencias estadísticas como en la longitud del tallo para genotipos y en general para la inducción de numero de brotes basales.

4.5 LITERATURA CITADA

Bala, M. and Singh, K. P. 2013. *In vitro* mutagenesis of rose (*Rosa hybrida* L.) explants using gamma radiation to induce novel flower colour mutations. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 88: 462–468. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11512992>

Bala, M. and Singh, K. P. 2015. *In vitro* mutagenesis in rose (*Rosa hybrida* L.) cv.

- Raktima for novel traits. *Indian Journal of Biotechnology*, 14: 525–531.
- Berenschot, A. S., Zucchi, M. I., Tulmann-neto, A. and Quecini, V. 2008. Mutagenesis in *Petunia x hybrida* Vilm. and isolation of a novel morphological mutant. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20: 95–103.
- Calabrese, E. J. and Baldwin, L. A. 2002. Defining hormesis. *Human and Experimental Toxicology*, 21: 91–97. <https://doi.org/10.1191/0960327102ht217oa>
- Caplin, N. and Willey, N. 2018. Ionizing radiation, higher plants, and radioprotection: from acute high doses to chronic low doses. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00847>
- Chen, Y., Mao, Y., Liu, H., Yu, F., Li, S. and Yin, T. 2014. Transcriptome analysis of differentially expressed genes relevant to variegation in peach flowers. *PLOS ONE*, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090842>
- Cheng, J., Liao, L., Zhou, H., Gu, C., Wang, L. and Han, Y. 2015. A small indel mutation in an anthocyanin transporter causes variegated colouration of peach flowers. *Journal of Experimental Botany*, 66: 7227–7239. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv419>
- Dahab, A. M. A., Heikal, A. A. M., Taha, L. S., Gabr, A. M. M., Metwally, S. A. and Ali, A. A. R. 2017. *In vitro* mutagenesis induction in *Eustoma grandiflorum* Plant using Gamma Radiation. *Journal of Environmental Science and Technology*, 10: 175–185. <https://doi.org/10.3923/jest.2017.175.185>
- De Schepper, S., Debergh, P., Van Bockstaele, E., De Loose, M., Gerats, A. and Depicker, A. 2003. Genetic and epigenetic aspects of somaclonal variation: Flower colour bud sports in azalea, a case study. *South African Journal of Botany*, 69: 117–128. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30333-1](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30333-1)
- Esnault, M., Legue, F. and Chenal, C. 2010. Ionizing radiation: Advances in plant response. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.01.007>

- Estrada, J. A. B., Pedraza, M. E. S., de La Cruz, E. T., Martínez, A. P., Sáenz, C. R. and Morales, J. L. G. 2011. Efecto de rayos gamma ^{60}Co en nardo (*Polianthes tuberosa* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3, 445–458.
- Flores, H. L. A., Lobato, O. R., García-Zavala, Jesús, J., Molina-Galán, J. D; Sargerman-Jarquín, D. M. y Velasco Alvarado, M. de J. 2017. Parientes silvestres del tomate de como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. Revista Fitotecnia Mexicana, 40: 83–91. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/610/61050549011.pdf>
- García, C. E., Sandoval, V. M., Carrillo, S. A., Valdéz, C. J. M. y González, F. P. H. 2015. Identificación con redes neuronales probabilísticas de las deficiencias de hierro y magnesio, usando imágenes digitales de hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia, 49: 395–409.
- Ghani, M., Kumar, S. and Thakur, M. 2013. Induction of novel variants through physical and chemical mutagenesis in Barbeton daisy (*Gerbera jamesonii* Hook.). Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 88: 585–590. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11513010>
- Iida, S., Morita, Y., Choi, J., Park, K. and Hoshino, A. 2004. Genetics and epigenetics in flower pigmentation associated with transposable elements in morning glories. Adv. Biophys, 39: 141–159.
- Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. O. and Mahmooduzzafar. 2011. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. Environmental Reviews, 20: 17–39. <https://doi.org/10.1139/a11-021>
- Kam, W. Y. W. and Banati, R. B. 2013. Effects of radiation on mitochondria. Free Radical Biology and Medicine, 65: 607–619. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.024>
- Kazi, N. A. 2015. Mutation breeding in flower crops. Asian Journal of Multidisciplinary Studies, 3: 228–230.

- Koh, G. C., Kim, M. Z. and Kang, S. Y. 2010. Induction of petal color mutants through gamma ray irradiation in rooted cuttings of rose. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 28: 796–801.
- Lü, P., Kang, M., Jiang, X., Dai, F., Gao, J. and Zhang, C. 2013. RhEXPA4, a rose expansin gene, modulates leaf growth and confers drought and salt tolerance to *Arabidopsis*. *Planta*, 237: 1547–1559. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1867-3>
- Ma, K.-F., Zhang, Q.-X., Cheng, T.-R., Yan, X.-L., Pan, H.-T. and Wang, J. 2018. Substantial epigenetic variation causing flower color chimerism in the ornamental tree *Prunus mume* revealed by single base resolution methylome detection and transcriptome sequencing. *International Journal of Molecular Sciences*, 19: 2315. <https://doi.org/10.3390/ijms19082315>
- Mano, H., Ogasawara, F., Sato, K., Higo, H. and Minobe, Y. 2007. Isolation of a regulatory gene of anthocyanin biosynthesis in tuberous roots of purple fleshed sweet potato. *Plant Physiology*, 143: 1252–1268. <https://doi.org/10.1104/pp.106.094425>
- Marcu, D., Cristea, V. and Daraban, L. 2013. Dose dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) seedlings. *International Journal of Radiation Biology*, 89: 219–223. <https://doi.org/10.3109/09553002.2013.734946>
- Martin, E., Yilmaz, G. and Tekin, M. 2013. Karyology of endemic *Matthiola anchoniifolia* Hub. -Mor. (Brassicaceae) in Turkey. *Caryologia*, 66: 293–295. <https://doi.org/10.1080/00087114.2013.852343>
- Petroni, K. and Tonelli, C. 2011. Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs. *Plant Science*, 181: 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.009>
- Ramirez, Z. G. and Chavez, S. J. L. 2014. Mejoramiento genético de ornamentales del estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria,

Acuícola y Forestal del Estado de México- ICAMEX.

- Sarwar, A. and Butt, S. J. 2015. Evaluation of mutant lines of rosa species. *Advances in Crop Science and Technology*, 3. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000196>
- Schum, A. (2003). Mutation breeding in ornamentals: An efficient breeding method?, *Acta Horticulturae*, 612: 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.612.6>
- Shibata, M. (2008). Importance of genetic transformation in ornamental plant breeding. *Plant Biotechnology*, 25: 3–8. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.25.3>
- Soliman, T. M. A., Lv, S., Yang, H., Hong, B. and Zhao, L. 2014. Isolation of flower color and shape mutations by gamma radiation of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. Youka. *Euphytica*, 199: 317–324. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1127-z>
- Ubeda-Tomás, S., Beemster, G. T. S. and Bennett, M. J. 2012. Hormonal regulation of root growth: Integrating local activities into global behaviour. *Trends in Plant Science*, 17: 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.02.002>
- van Tuyl, J. M. 2012. Ornamental plant breeding activities worldwide. *Acta Horticulturae*, 953: 13–17. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.953.1>
- Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167: 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.08.011>
- Wi, G. S., Yeoup, C. B., Kim, J., Kim, J., Baek, M., Lee, J. and Soo, Y. 2007. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron*, 38: 553–564.

<https://doi.org/10.1016/j.micron.2006.11.002>

Wu, X., Gong, Q., Ni, X., Zhou, Y. and Gao, Z. 2017. UFGT: The key enzyme associated with the petals variegation in japanese apricot. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00108>

Xu, R. and Li, Y. 2012. The mediator complex subunit 8 regulates organ size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signaling and Behavior*, 7: 182–183. <https://doi.org/10.4161/psb.7.2.18803>

CAPITULO V. DINAMICA DEL CONSUMO DE AGUA Y PÉRDIDA DE PESO EN POSTCOSECHA DE VARIANTES DE ALHELÍ

RESUMEN

El presente estudio fue conducido bajo el objetivo de determinar aquellas dosis en mutantes generados por radiación ^{60}Co de las selecciones Nieve y Uva, que mejor vida de florero muestran respecto al consumo de agua y pérdida de peso por tallo. El experimento fue desarrollado en un diseño en bloques completamente al azar con diez repeticiones, donde los resultados del análisis de varianza mostraron que existen diferencias estadísticas en genotipo, radiación y la interacción de genotipos*radiación en la pérdida de peso por flor, mientras que en el consumo de agua no se mostraron diferencias en los genotipos. Respecto a la comparación de medias (Tukey, 0.05) en el consumo de agua en las dosis de radiación se tiene que fueron los mutantes generados a 150 Gy los que mayor CA y PPT mostraron, mientras que en Nieve muestra menor CA y PPT a 90 Gy en Uva fue el testigo. Respecto a la comparación múltiple de medias entre los dos genotipos se observó que mutantes de Uva generados a 50 y 70 Gy mantienen mayor longevidad postcosecha que mutantes de la selección Nieve.

Palabras clave: postcosecha, vida de florero, marchitez, senescencia, matthiola

**CHAPTER VI. DINAMIC OF CONSUME OF WATER AND LOST WEITH
POSTHARVEST IN VARIANTS OF SOCK FLOWER**

ABSTRACT

The present study was conducted under the objective was to determine those doses in mutants generated by radiation ^{60}Co selections Nieve and Uva, which better vase life show with regard to the consumption of water and weight loss per stem. The experiment was developed by a completely random block design where the results of the analysis of variance showed that there are statistical differences in genotype, radiation and the interaction of radiation genotypes in weight loss per flower, while water consumption did not show differences in the genotypes. With regard to the comparison of means (Tukey, 0.05) in the consumption of water in the doses of radiation is that were the mutants generated at 150 Gy which increased CA and PPT showed, while in Nieve the lowest CA and PPT went to 90 Gy and Uva the witness. With respect to the multiple comparison of means between the two genotypes it is concluded that mutants of Uva generated to 50 and 70 Gy maintain greater postharvest longevity than mutants generated from the selection Nieve.

Keywords: postharvest, life in glass, wilting, senescence, Matthiola

5.1 INTRODUCCIÓN

La longevidad en postcosecha de flores de corte es un importante criterio de selección para los consumidores (Salam *et al.*, 2015; In y Hee, 2018), debido a que menor vida postcosecha se traduce en pérdidas económicas. Una alargada vida de florero se vincula a un buen manejo en el punto de corte, prácticas de manejo (In y Hee, 2018) y en mayor medida al contenido de carbohidratos presentes en las hojas (Marissen y la Brijn, 1995).

Al contrario, una pronta senescencia se atribuye principalmente a un déficit de absorción de agua causado por un desorden vascular u obstrucción de los vasos conductores por la incidencia de crecimiento microbiano en la solución en absorción (Su *et al.*, 2019), así mismo, como la formación de tilosis o inducción de embolismo por una tardía rehidratación (van Ieperen *et al.*, 2002).

Los resultados actuales afirman que la vida de florero se relaciona a la producción excesiva de compuestos reactivos de oxígeno (ROS), incluida la sobreproducción del radical anión superóxido, el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (Su *et al.*, 2019), y la pronta síntesis de etileno, debido a que este último es el principal causal del marchitamiento (Liu *et al.*, 2018).

La marchitez inicia por la pérdida de color en pétalos y la disminución en la longevidad de los mismos, disminución del peso del tallo floral, causada por la degradación de cloroplastos, proteínas, y lípidos que dan origen la abscisión del tejido vegetal (Ma *et al.*, 2018; Su *et al.*, 2019).

La longevidad de las flores de corte está determinada por el genotipo del material, mismo que se encuentra fuertemente influenciado por la expresión del fenotipo a la interacción con el ambiente en el cual se desarrolle la flor (Fanourakis et al., 2012a). Trabajos previos en alhelí sugieren ser una flor de limitada longevidad postcosecha (pérdida del peso del casi 80 % pasados ocho días) (Salam *et al.*, 2015).

Actualmente los programas actuales de mejoramiento genético de estas especies se encuentran tratando de generar nuevos materiales que superen esta limitante. Por lo tanto, el objetivo que plantea el presente estudio es determinar las dosis que mejor estimule una mayor vida de florero por una menor pérdida de peso por flor y mínimo consumo de agua en mutantes generados en seis dosis con ⁶⁰Cobalto de las selecciones Nieve y Uva.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Material vegetal y conducción del experimento

En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) muestras de semillas de las selecciones Nieve y Uva fueron irradiadas a 50, 70, 90, 110, 130 y 150 Gy con ⁶⁰Co. El manejo de las semillas, inicio con la etapa de germinación en charolas con turba, donde, por cada alveolo se depositaron dos semillas. Durante el desarrollo de plántula, fueron irrigadas con la solución nutritiva Steiner al 10 %. La etapa de trasplante se realizó 40 días después de la siembra, con un marco

de plantación de 15 × 15 en una cama de arena. Post-transplante los riegos fueron constantes, realizando aplicaciones al *drench*, donde la solución Steiner fue en aumento hasta el 50 % al inicio de la etapa reproductiva del cultivo.

5.2.2 Unidades experimentales, variables y análisis de datos

De forma visual fueron seleccionados 10 tallos en base a semejanza morfológica. El punto de corte fue cuando los tallos mostraron un cuarto de las flores basales abiertas. La cosecha fue con raíz, para después uniformizar las unidades experimentales a 60 cm (desde la última flor al tallo), donde enseguida se mantuvieron en sombra hidratándose con agua desionizada por 5 h.

Por cada tallo fue determinado el peso (g) en fresco, para después ser puesto en un frasco con 300 mL de agua desionizada (volumen inicial), y colocado dentro de una incubadora con una temperatura constante de 22 ± 3 °C con un fotoperiodo de 16 h luz⁻¹ y 8 h obscuridad⁻¹. Al cuarto día se hizo labor de mantenimiento, cortando dos centímetros a la base del tallo y realizando cambio del agua del frasco. Durante ocho días se registró la pérdida de peso del tallo (PPT) y el consumo de agua (CA). Se mantuvo el registro de la evapotranspiración de la incubadora y el valor fue sumado al total del consumo de agua en las unidades experimentales. A los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, 0.05), por genotipo, radiación e interacción genotipo radiación con el software estadístico SAS ver. 9.4 (SAS Institute, 2013).

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1 Análisis de varianza general

La interacción genotipo*radiación muestra altas diferencias significativas ($p < 0.0001$) para el consumo de agua (CA) y pérdida de peso por flor. Mientras que en radiación solo se mostraron altas diferencias ($p < 0.01$) en PPF, y diferencias del 0.05 en CA. El ANOVA de genotipos en el CA no mostró diferencias estadísticas y solo en PPF las mostró al 0.05 de significancia. Al respecto, se infiere que durante la selección de tallos con semejanza para la distribución de los tratamientos se discrimino la variabilidad que pudo haber influido en la significancia para el consumo de agua.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza en variables postcosecha.

FV	CM	
	CA	PPF
Genotipo	2242.4 ns	17976.04 *
Radiación	10852.8 *	16880.21 **
Genotipo*Radiación	21186.8 **	14636.51 **
Error	2212.16	2177.61
CV	25.00	61.46
R ²	0.61	0.62

** : altamente significativo con $p \leq 0.0001$; *significativo con $p \leq 0.05$; ns: no significativo; CA: consumo de agua; PPF: pérdida de peso en flor; FV: fuente de variación; CV: coeficiente de varianza; R²: Coeficiente de determinación.

5.3.2 Dinámica del consumo de agua y pérdida de peso por tallo

Tal como se señaló anteriormente la comparación múltiple de medias por genotipos, no mostró diferencias estadísticas en el CA, debido a que se mostraron de comportamiento semejante durante los ocho días que se mantuvo la prueba postcosecha (Figura 1).

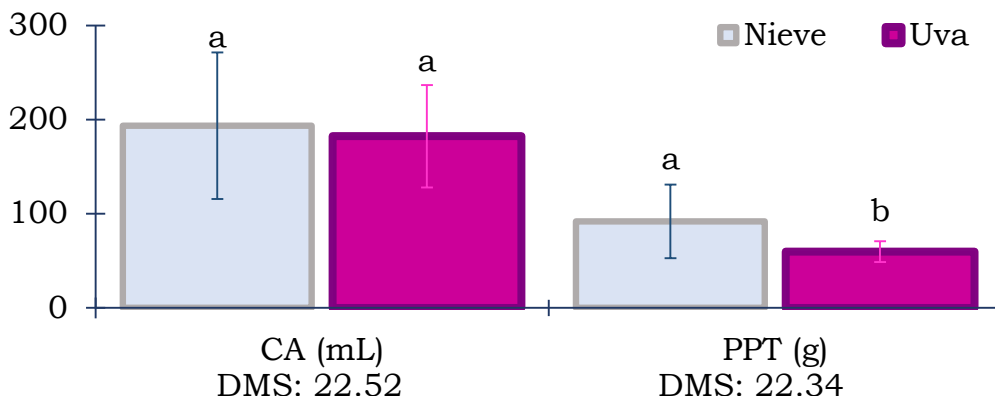


Figura 1. Respuesta de genotipos al consumo de agua y pérdida de peso en vida postcosecha de alhelí. *DMS: diferencia mínima significativa por variable estudio.

Para la variable PPF se denota que Uva muestra menor pérdida de peso (60 g) respecto a Nieve (92 g). De lo anterior como se puede observar en la figura 5, Nieve es más susceptible al amarillamiento y pronta abscisión en hojas, mismas que son sensibles al etileno. Un comportamiento semejante se observa en flores de alstroemeria (*Alstroemeria spp.*) y lilis (*Lilium longifloru*) (Van Doorn, 2011) de la que para prolongar la vida de florero se ha recurrido en aplicaciones de soluciones pulso de altas concentraciones de sacarosa, agentes antimicrobianos y elevadas concentraciones de ácido gilberelico (AG_3) (Sea *et al.*, 2012),

citocininas (Van Doorn, 2011) y recientemente incorporando tratamientos de 1-metilcloropropeno (1-MCP) (Cury *et al.*, 2017).

La influencia de la radiación sobre el CA se muestra en la figura 2. Los promedios indican una reducción del consumo en dosis de 70, 110 y 130 Gy con una disminución del 22.6, 7.4 y 27 mL respectivamente, con diferencia al testigo. En contraste, el mayor consumo de agua se reporta a los 150 Gy. De lo anterior, concuerda con lo mencionado por Fanourakis *et al.* (2012) quienes afirman que son las características morfológicas y fisiológicas las que influyen sobre las relaciones hídricas de consumo de agua por las flores cosechadas, mostrando ser fuertemente influenciados por la interacción del genotipo al ambiente durante el desarrollo de la flor que en suma determinaran la vida de florero de una flor cortada, de ello que corresponde a lo observado en el fenotipo expresado por mutantes generados a 130 Gy y 150 Gy quienes mostraron mayor número de brotes axilares y área foliar, de ello se incrementó la demanda de agua por la transpiración de las hojas.

Trabajos previos sugieren que el consumo de agua se debe a las relaciones hídricas entre la morfología y fisiología, como el área de la hoja, densidad y función estomática que se encuentran determinadas por la interacción del genotipo a las condiciones ambientales (In y Hee, 2018).

Respecto a la pérdida de peso transcurridos los ocho días de iniciada la prueba, se observa que a pesar de no haber diferencias estadísticas (Tukey 0.05) entre el testigo hasta los 130 Gy, la PPT se muestra más severa por la absición de hojas

y flores en mutantes generados a 150 Gy. De lo anterior se infiere que la radiación afecto significativamente la producción de fenoles, debido a que estos compuestos orgánicos retrasan la senescencia de los tejidos en postcosecha (Zenil *et al.*, 2014).

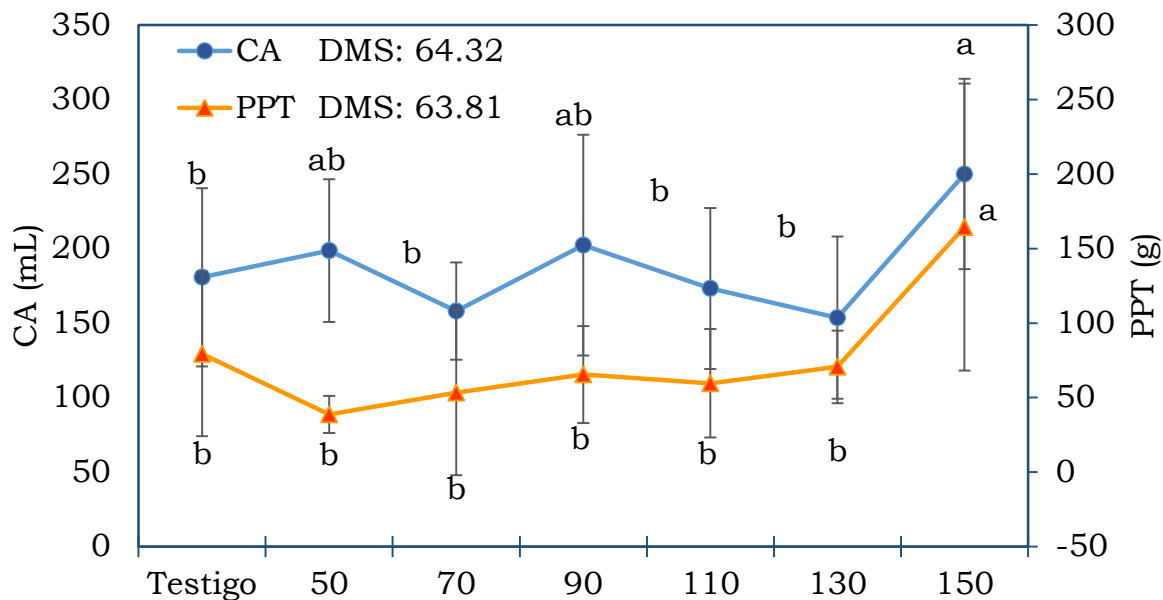


Figura 2. Efecto del consumo de agua y pérdida de peso en seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa por variable estudio.

5.3.3 Consumo de agua

La comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05) por genotipos, se muestra en la figura 3, donde se observa que sin radiación el testigo de Nieve consume 88.56 mL más que Uva. Dado que, en comparación a los mutantes que mayor agua consumen son los generados a 150 Gy en Nieve y 90 Gy en Uva de los cuales se mantiene la constante de 88.42 mL.

Así mismo, se afirma que el elevado consumo de agua se atribuye a la acelerada pérdida de agua por los estomas (Drake *et al.*, 2013), y en consecuencia postcosecha la iniciación de la abscisión en hojas y flores debido a un prolongado tiempo que estos se mantienen abiertos (Huang *et al.*, 2018), acelerando la pronta síntesis de etileno (Scariot *et al.*, 2014).

Se infiere que los cambios inducidos por la radiación en el fenotipo de los mutantes fueron semejantes, adicionando que como ya se mencionó en párrafos anteriores, antes de iniciar la prueba postcosecha las unidades experimentales se homogeneizaron por morfología de forma visual, pudiendo así haber seleccionado individuos de alto parentesco.

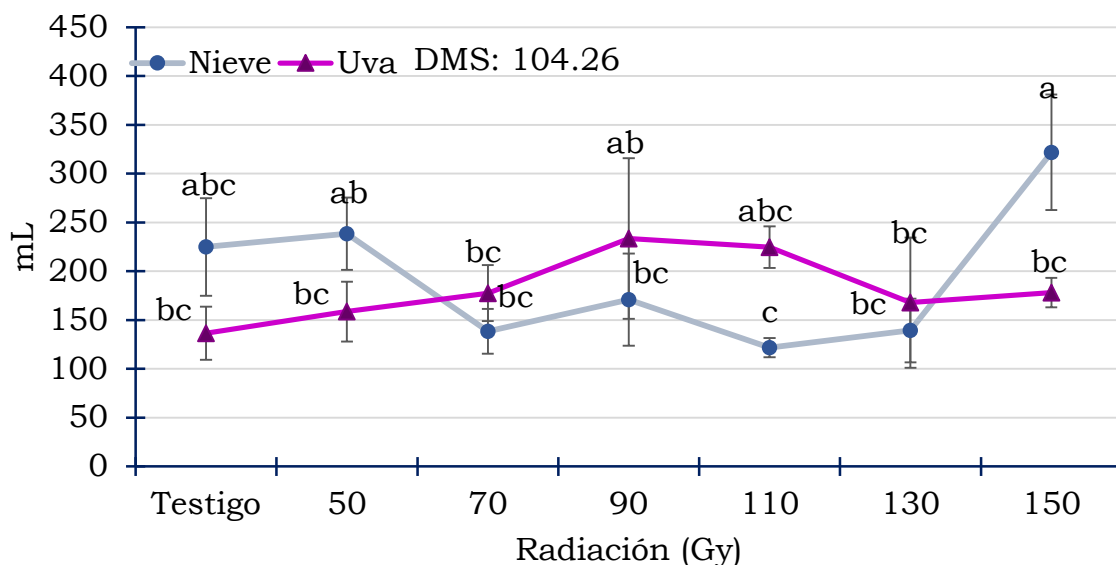


Figura 3. Consumo de agua de mutantes de Nieve y Uva generados por exposición a seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa.

El consumo se disminuye en los mutantes de Nieve a 90 Gy (53.92 mL) y en Uva el genotipo testigo fue el que menor consumo realizó (136.44) y la diferencia entre estos dos materiales no fue tan amplia como aquellos mutantes de mayor consumo de agua generados en altas e intermedias dosis.

5.3.4 Pérdida de peso en tallos florales

El mayor promedio respecto a la pérdida de peso por tallo floral se reporta en Nieve a 150 Gy con 321.94 g y de 233.52g a 90 Gy en mutantes de Uva. De lo anterior, que en mencionadas dosis la diferencia respecto al testigo es de 96.94 y 97.08 g en Nieve y Uva. De lo anterior, aunque se hicieron correlaciones entre las variables para cada genotipo no se encontraron diferencias significativas por debido al amplio rango de variabilidad entre los tratamientos. Además, se observa en contraste al consumo de agua una tendencia que indica que al incremento de radiación el CA es proporcional a la PPT.

En contraste a lo reportado por Çelikel y Reid (2002), nosotros no evaluamos ninguna adición de algún preservante en la solución líquida, pero se obtuvo que los mutantes generados a 50 y 110 Gy de Nieve y de 50 y 70 Gy en Uva muestran mejor vida de florero que el genotipo evaluó por los ya mencionados autores. De lo anterior se infiere que dicha diferencia es debida en gran medida a diferente germoplasma y condiciones de disponibilidad de factores estimulantes del desarrollo de los tallos florales.

Respecto al menor promedio en la PPT en Nieve fue a 110 Gy (121.78 g) y en Uva fue el testigo con un promedio del 136.44 g, declarado lo anterior, se infiere que la radiación indujo mayor variabilidad seleccionable a menor pérdida de peso y mayor vida postcosecha en mutantes de Nieve, mientras que, en Uva, la PPT no fue una constante alterada por la radiación.

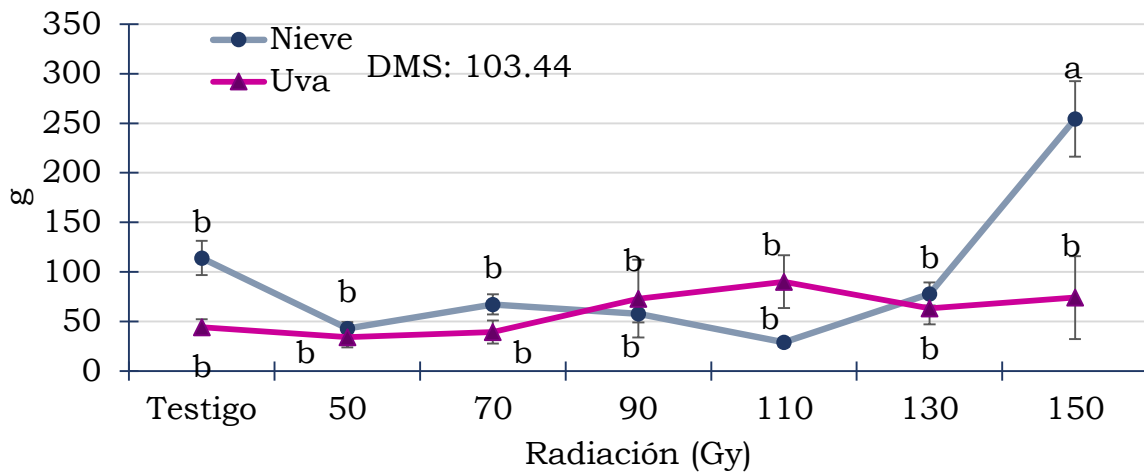
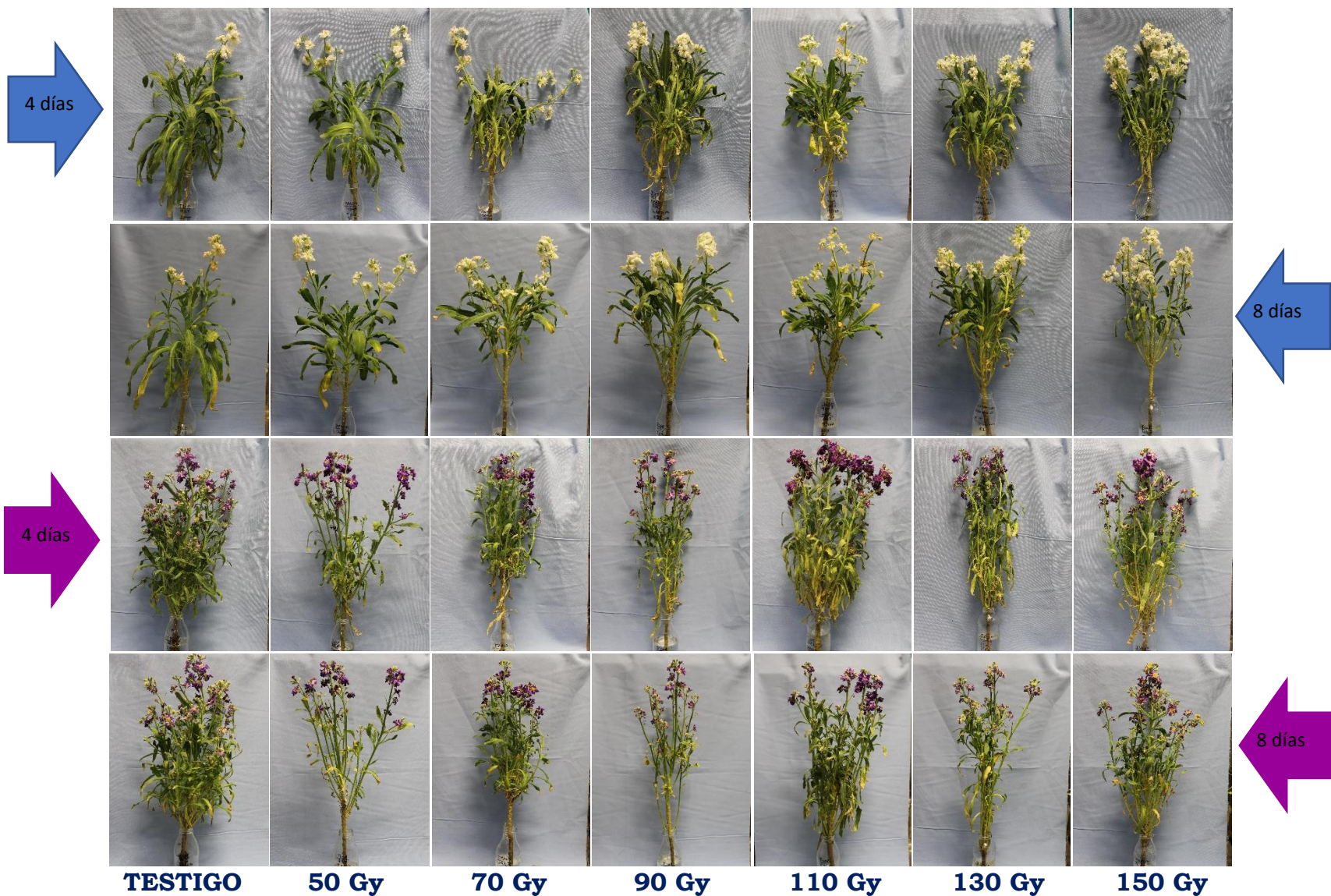


Figura 4. Pérdida de peso de mutantes de Nieve y Uva generados por exposición a seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa.

5.4. CONCLUSIÓN

Mutantes generados de Nieve a dosis de 150 Gy y 90 Gy de Uva duplican el consumo de agua, mientras que solo en Nieve es posible seleccionar mutantes con reducido CA en dosis de 110 Gy. La mejor postcosecha en mutantes de Nieve es a 50 y 110 Gy y en Uva a 50 y 70 Gy por su mínima pérdida de peso y constante consumo de agua. Respecto a PPT, aquellos mutantes de 150 Gy de Nieve presentaron mayor pérdida que aquellos de Uva 90 Gy.



TESTIGO 50 Gy 70 Gy 90 Gy 110 Gy 130 Gy 150 Gy
Figura 5. Estado postcosecha de mutantes de alhelí generados a partir de Nieve y Uva con dosis de ⁶⁰Co de 50,70,90,110,130 y 150 Gy más el testigo.

5.5. REVISIÓN DE LITERATURA

- Çelikel, F. G. and Reid, M. S. 2002. Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). HortScience, 37; 144–147.
- Cury, Galat, V., Muniz, C. A. C., Guimarães, R. J. E., Inestroza-Lizardo, C. O., Fabrino, M. C. M. and Mattiuz, B.-H. 2017. Postharvest conservation of alstroemeria ‘ajax’ using 1-methylcyclopropene. Ciência e Agrotecnologia, 41; 181–190. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412032816>
- Drake, P. L., Froend, R. H. and Franks, P. J. 2013. Smaller, faster stomata: Scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. Journal of Experimental Botany, 64; 495–505. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers347>
- Fanourakis, D., Carvalho, S. M. P., Almeida, D. P. F., van Kooten, O., van Doorn, W. G. and Heuvelink, E. 2012. Postharvest water relations in cut rose cultivars with contrasting sensitivity to high relative air humidity during growth. Postharvest Biology and Technology, 64; 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.09.016>
- Huang, X., Lin, S., He, S., Lin, X., Liu, J., Chen, R. and Li, H. 2018. Characterization of stomata on floral organs and scapes of cut ‘Real’ gerberas and their involvement in postharvest water loss. Postharvest Biology and Technology, 142; 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.001>
- In, B. C. and Hee, L. J. 2018. Potential vase life of cut roses: Seasonal variation and relationships with growth conditions, phenotypes, and gene expressions. Postharvest Biology and Technology, 135; 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.09.006>
- Liu, J., Zhang, Z., Li, H., Lin, X., Lin, S., Joyce, D. C. and He, S. 2018. Alleviation of effects of exogenous ethylene on cut ‘Master’ carnation flowers with nano-silver and silver thiosulfate. Postharvest Biology and Technology, 143; 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.017>
- Ma, N., Ma, C., Liu, Y., Owais, S. M., Wang, C. and Gao, J. 2018. Petal senescence: A hormone view. Journal of Experimental Botany, 69; 719–

732. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery009>

- Marissen, N. and La Brijn, L. 1995. source-sink relations in cut roses during vase life.. Acta Horticulture, 405: 81-88
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.405.9>
- Salam, K. M. A., Younis, A. and Riaz, A. 2015. Postharvest treatments for extending the vase life of cut stock (*Matthiola incana* L.) cv. “Gold cut series” Postharvest Treatments for Extending the Vase Life of Cut Stock. Agricultural Communications, 3; 37–42.
- Scariot, V., Paradiso, R., Rogers, H. and de Pascale, S. 2014. Ethylene control in cut flowers: Classical and innovative approaches. Postharvest Biology and Technology, 97; 83–92.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.06.010>
- Sea, Y. C., Szydlik, M. and Lukaszewska, A. J. 2012. The effect of postharvest treatments on flower quality and vase life of cut alstroemeria “Dancing queen”. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 20; 147–160. <https://doi.org/10.2478/v10290-012-0024>
- Su, J., Nie, Y., Zhao, G., Cheng, D., Wang, R., Chen, J. and Shen, W. 2019. Endogenous hydrogen gas delays petal senescence and extends the vase life of lisianthus cut flowers. Postharvest Biology and Technology, 147; 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.018>
- Van Doorn, W. G. 2011. The postharvest quality of cut lily flowers and potted lily plants. Acta Horticulturae, 900; 255–264.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.900.32>
- Van Ieperen, W., Van Meeteren, U. and Nijssen, J. 2002. Embolism repair in cut flower stems: A physical approach. Postharvest Biology and Technology, 25; 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00161-2)
- Zenil, L. N., Colinas, L. M. T., Bautista, B. C., Vázquez, R. T. R., Lozoya, S. H. and Martínez, D. M. T. 2014. Fenoles totales y capacidad antioxidante estimada con los ensayos DPPH/ABTS en rosas en soluciones preservantes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5; 1029–1039. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131532010>

CONCLUSIONES GENERALES

La iniciativa del presente estudio es el primero que aborda la temática actual del estatus del cultivo del alhelí, además se hace la portación del conocimiento en los aspectos referentes a la descripción de morfológica de la semilla, como de sus procesos, de imbibición, germinación. Así mismo como del desarrollo de plántulas en etapa de trasplante, y de la caracterización de la morfología de tallos florales y evaluación postcosecha de mutantes generados por radiación a ^{60}Co .

De lo anterior se concluye por capítulo que:

- Semillas de la especie *incana* presentan mayores dimensiones morfológicas respecto a otras especies, y el proceso de imbibición de las misma, se integra de dos subfases en la fase dos de la imbibición, siendo una condicional de la absorción y pérdida de agua el color de la testa seminal.
- La radicación con ^{60}Co estimula la germinación en los genotipos Nieve, Rosita y Uva a dosis bajas, mientras que a dosis altas se causan deformidades en la plántula. El grado de sensibilidad en los genotipos fue de Nieve < Uva < Rosita.
- La radiación gamma induce variabilidad seleccionable a dosis altas en plántulas de los genotipos en estudio, sin embargo, la longitud al primer entrenudo y diámetro del tallo, son caracteres constantes que

no son altamente alterados por la radiación gamma, por lo tanto, se recomienda no integrar dichas variables en próximas investigaciones.

- En la caracterización de variabilidad originada por efecto del ^{60}Co , la radiación a 150 Gy mejoró los atributos relacionados a la inflorescencia (aumentó en braceo lateral, número de flores por brote, diámetro y peso de flores) en los mutantes de las selecciones Nieve y Uva. Además de que la radiación indujo distinto porcentaje de pigmentos en los pétalos de los mutantes de Uva.
- La discriminación por el consumo de agua y pérdida de peso en mutantes de los genotipos Nieve y Uva, muestran que son a 50 y 110 Gy y 50 y 70 Gy los mejores promedios con mejor vida postcosecha.